
3 1761 06240153 4



ŒUVRES COMPLÈTES

DE

FRANÇOIS ARAGO

TOME SEPTIÈME

La propriété littéraire des divers ouvrages de François Arago étant soumise à des délais légaux différents, selon qu'ils sont ou non des œuvres posthumes, l'éditeur a publié chaque ouvrage séparément. Ce titre collectif n'est donné ici que pour indiquer au relieur le meilleur classement à adopter.

Par la même raison, la réserve du droit de traduction est faite au titre et au verso du faux-titre de chaque ouvrage séparé.

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT,

ŒUVRES COMPLÈTES

DE

FRANÇOIS ARAGO

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCE

PUBLIÉES

D'APRÈS SON ORDRE SOUS LA DIRECTION

DE

M. J.-A. BARRAL

Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Répétiteur
dans cet Établissement

TOME SEPTIÈME



PARIS
GIDE, ÉDITEUR
5 rue Bonaparte

LEIPZIG
T. O. WEIGEL, ÉDITEUR
Königs-Strasse

1858

NOTICES SCIENTIFIQUES

TOME QUATRIÈME

PARIS — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7

ŒUVRES

DE

FRANÇOIS ARAGO

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PUBLIÉES

D'APRÈS SON ORDRE SOUS LA DIRECTION

DE

M. J.-A. BARRAL

NOTICES SCIENTIFIQUES

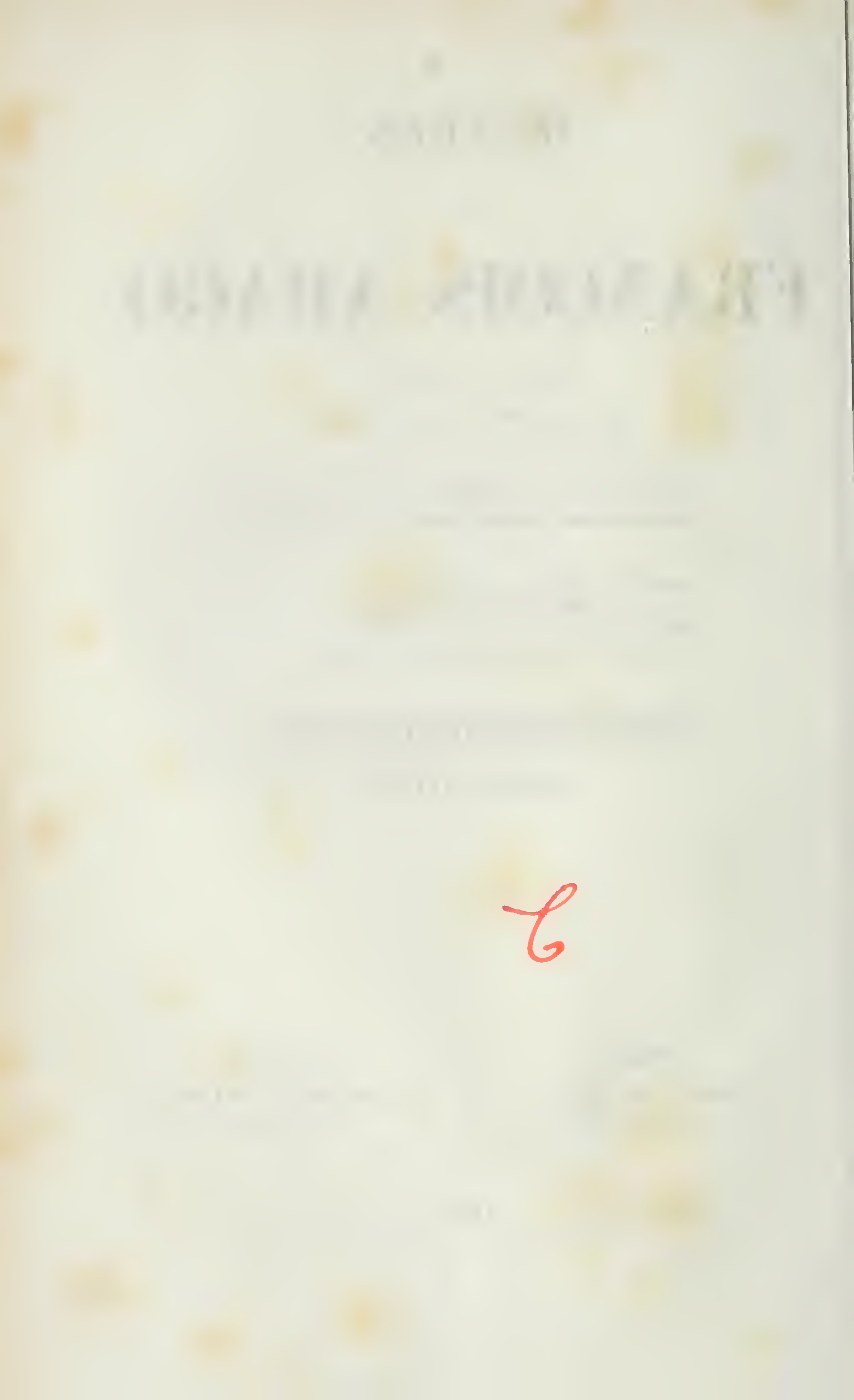
TOME QUATRIÈME



PARIS
GIDE, ÉDITEUR
5 rue Bonaparte

LEIPZIG
T. O. WEIGEL, ÉDITEUR
Königs-Strasse

1858



NOTICES SCIENTIFIQUES

DE LA SCINTILLATION

CHAPITRE PREMIER

AVANT-PROPOS

Les phénomènes du ciel étoilé qui ne sont pas susceptibles de mesures rigoureuses excitent à peine aujourd'hui l'attention des astronomes. Il n'en était pas de même jadis; témoin le rendez-vous que Kepler assignait à Simon Marius, dans la ville de Francfort, pour une conférence sur la scintillation.

Il est peu de phénomènes qui se reproduisent plus souvent que celui de la scintillation; on peut ajouter qu'il n'en est pas dont on connaisse moins la cause. J'ai essayé de la découvrir, sans me laisser décourager par les tentatives infructueuses de mes prédécesseurs.

J'avais d'abord eu le projet de restreindre, dans cette notice, ma contribution personnelle à la théorie nouvelle que j'ai cru pouvoir donner de la scintillation, et d'emprunter aux ouvrages spéciaux la description et l'histoire de ce phénomène compliqué ; mais j'ai été forcé, malgré

moi, de changer mon plan. L'*Histoire de l'astronomie* de Bailly ne renferme, sur la scintillation, qu'une vingtaine de lignes (tome II, p. 37). Le mot ne figure même pas dans la table détaillée des matières contenue dans le troisième volume.

On ne trouve pas davantage ce mot dans les tables des quatre gros volumes de Montucla.

Lalande a consacré au phénomène de la scintillation une page et demie environ de son *Traité d'astronomie* en trois volumes in-4°, mais sans en donner une définition nette et précise.

D'autres ouvrages ne sont ni plus exacts ni plus développés.

Ces circonstances m'ont déterminé à réunir et à coordonner les notes que j'avais anciennement recueillies dans mes lectures. En les publiant, j'épargnerai aux savants qui voudront écrire sur la matière, des recherches minutieuses et une fatigue qu'un auteur s'impose alors seulement que, traitant un sujet déterminé, il veut rendre une complète justice à ceux qui l'ont précédé dans la carrière.

CHAPITRE II

EN QUOI CONSISTE LA SCINTILLATION

Question bien posée est à moitié résolue, dit un vieil adage. C'est pour n'avoir pas nettement défini le mot *scintillation*, que tant de savants illustres se sont complétement égarés dans l'explication qu'ils ont donnée du phénomène. Ne commettons pas la même faute ; disons,

sans équivoque ce que c'est que la scintillation ; ensuite nous en chercherons la cause.

Pour une personne regardant le ciel à l'œil nu, la scintillation consiste en des changements d'éclat des étoiles très-souvent renouvelés. Ces changements sont ordinairement, sont presque toujours accompagnés de variations de couleurs et de quelques effets secondaires, conséquences immédiates de toute augmentation ou diminution d'intensité, tels que des altérations considérables dans le diamètre apparent des astres ou dans les longueurs des rayons divergents qui paraissent s'élancer de leur centre, suivant diverses directions.

CHAPITRE III

DES CHANGEMENTS INSTANTANÉS DE COULEUR DES ÉTOILES OBSERVABLES A L'ŒIL NU

Les changements instantanés de couleur qui ont lieu dans l'acte de la scintillation devant jouer un rôle décisif pour faire apprécier les explications diverses qu'on a données du phénomène, il devient curieux de rechercher si l'observation de ces changements est nouvelle, ou si elle n'avait pas échappé aux anciens astronomes.

L'observation n'est pas nouvelle.

Au moment où je cherchais des preuves de ce fait, M. Babinet me fit remarquer qu'un des noms donnés à Sirius par les Arabes, le nom de *Barakesch*, peut être traduit par l'*étoile aux mille couleurs*.

Tycho avait aperçu des couleurs dans la scintillation des étoiles ; il cite particulièrement la scintillation de l'étoile nouvelle de 1572. Il la compare aux éclats successifs que présente un diamant à facettes tournant en présence d'une lumière. Mais l'astre de 1572 était-il une étoile ordinaire [1] ?

Galilée signale les teintes particulières à Mars et à Jupiter qu'affectait successivement l'étoile nouvelle de 1604 dans ses scintillations. Kepler parle des couleurs variables de la même étoile.

Rien de plus clair, à l'égard de la scintillation des étoiles proprement dites, que les passages suivants tirés de l'*Astronomiæ pars optica*, de Kepler :

« Les étoiles du Chien (Sirius) et Arcturus (α du Bouvier), le Chien principalement, revêtent, tour à tour, toutes les couleurs de l'arc-en-ciel... »

« Arcturus, dont la couleur principale est rougeâtre, présente, de temps à autre, différentes nuances. »

Je trouve dans la *Micrographie* de Hooke, à la p. 218 :

« On peut noter que les étoiles scintillent avec diverses couleurs, en sorte que dans certains moments elles paraissent rouges, quelquefois jaunes et d'autres fois bleues. Cela arrive même quand les étoiles sont assez élevées au-dessus de l'horizon. »

Le changement de couleur des étoiles dans l'acte de la scintillation avait aussi fixé l'attention de Michell et de Melville vers le milieu du siècle dernier.

M. Forster (*Philos. Magaz.*, 1824), non-seulement

1. Voir *Astronomie populaire*, t. I, p. 411 à 413.

remarquait les couleurs, mais il essayait de noter les périodes de leur reproduction. « Quelquefois, dit-il, la lumière rouge intense se montrait après deux dilatations de l'étoile; dans d'autres circonstances, après trois seulement; d'autres fois, enfin, sans aucune loi régulière. »

CHAPITRE IV

SCINTILLATION DE MERCURE ET DE VÉNUS

Tous les observateurs, Tycho, Kepler, etc., s'accordent à reconnaître que Mercure scintille fortement. Gassendi dit même que c'est à raison de cette forte scintillation qu'on avait donné à la planète le surnom στίλϐων, qui indique une lumière à éclats successifs.

On trouve le même accord relativement à la scintillation de Vénus. Tycho, Kepler, etc., ont vu scintiller cette planète. Scheiner ajoute que Vénus scintille moins dans ses moyennes distances qu'aux époques où elle est apogée et périgée.

Voici une observation de Kepler, consignée dans l'*Astronomiæ pars optica*, où la scintillation de Vénus est notée à la fois directement et par la projection de ses rayons sur un mur.

« En 1602, le $\frac{19}{29}$ décembre, vers le soir, je voyais par une fenêtre Vénus déjà sur son déclin.... La planète scintillait avec force. Lorsque je regardais le mur blanchâtre sur lequel se projetaient les rayons de Vénus, il présentait des ondulations comme lorsque la fumée empêche de voir la flamme, et cela avec une grande célérité

et des mouvements irréguliers..... J'ai remarqué que cette ondulation de lumière était en rapport avec la scintillation qu'on apercevait sur la planète.

« Le $\frac{5}{15}$ juin de l'année 1603, Vénus, et la Lune qui avait trois jours, envoyaient des rayons sur le même mur blanc..... Les rayons de Vénus ondulaient beaucoup; ceux de la Lune presque pas. »

CHAPITRE V

SCINTILLATION DE MARS

Tycho place Mars au nombre des astres qui scintillent, mais faiblement.

Kepler dit que des yeux exercés parviennent à distinguer une petite scintillation dans cette planète.

Simon Marius lui donne le premier rang après Mercure et Vénus.

Voici comment s'exprime Scheiner :

« Mars scintille beaucoup et avec force, surtout quand il est apogée. »

Après toutes ces assertions catégoriques, comment expliquer que Jacques Cassini ait affirmé, dans son *Astronomie*, page 42, que « l'on ne distingue pas de scintillation dans Mars » ?

Cassini s'est certainement trompé : Mars scintille quelquefois d'une manière non équivoque.

Remarquons, quant à la scintillation des planètes, qu'aucun astronome ne dit, comme pour les étoiles, qu'elle est accompagnée d'un changement de couleur.

La scintillation dans ce cas serait donc un simple changement d'intensité.

On pourrait s'étonner, après tous ces témoignages concordants sur les scintillations de Mercure, de Vénus et même de Mars, que Cléomède eût soutenu que toute lumière empruntée, que toute lumière réfléchie n'est pas sujette au genre de mouvement de vibration qui constitue la scintillation, si nous ne savions que les anciens ignoraient la nature de la lumière des planètes. L'opinion de Cléomède adoptée par Kepler, à une certaine époque, entraînait une hypothèse devant laquelle l'auteur de l'*Astronomie copernicienne* était loin de reculer. Il soutenait et disait avoir rendu vraisemblable, dans ses thèses publiées en 1602, « que les planètes ont une partie de lumière qui leur est propre et une autre partie venant du Soleil ». La seule partie de lumière propre contribuerait à la scintillation. Vénus n'aurait presque que de la lumière propre; Saturne, au contraire, que de la lumière empruntée.

Scheiner fit une observation qui, en point de fait, réduisait au néant l'opinion de Cléomède et les théories de Kepler. Cette observation montre de plus la véritable cause, la cause géométrique de la différence reconnue par tous les astronomes entre les scintillations très-visibles de Mercure et les scintillations à peine sensibles de Jupiter, si on laisse de côté les considérations imaginaires dans lesquelles l'auteur s'est égaré. Voici l'observation :

« Les images du Soleil, dit Scheiner, réfléchies par les boules dorées qui surmontent les clochers, paraissent

animées d'une sorte de trépidation, semblent sautiller de haut en bas. »

Après avoir fait cette subtile remarque, Scheiner n'a pas l'idée si simple que la petitesse de l'angle sous lequel l'image solaire se présente alors à l'œil entre pour quelque chose dans le phénomène observé; il s'en va étourdiment l'attribuer soit à l'humidité, à la rosée déposée à la surface des boules, soit à des nuages légers interposés entre la boule et l'observateur.

On lit dans Hooke (*Micrographie*, p. 219) : « J'ai souvent remarqué la scintillation de la lumière du Soleil réfléchie sur la vitre d'une fenêtre. »

Cette observation suffit pour prouver que la scintillation peut appartenir à des rayons réfléchis; mais l'illustre auteur ne fait pas la remarque que, dans son observation, l'image du carreau de vitre ne sous-tendait qu'un petit angle.

CHAPITRE VI

SCINTILLATION DE JUPITER ET DE SATURNE

Simon Marius place Jupiter au nombre des astres qui scintillent. Scheiner est de la même opinion : « La scintillation de Jupiter, dit-il, se fait par éclairs. » Jacques Cassini assure que Jupiter ne scintille jamais.

On lit dans la *Météorologie* de Kæmtz :

« Quand la scintillation des étoiles est très-forte, les planètes scintillent aussi, comme je l'ai vu pour Jupiter, placé près de l'horizon. »

Tycho dit que Saturne ne scintille pas du tout. Cette

opinion est corroborée par Roger Bacon, Gassendi et Jacques Cassini ; elle est contredite par Simon Marius et Scheiner. Ces deux derniers observateurs reconnaissent toutefois que Saturne est, de toutes les planètes, celle où le phénomène est le plus difficile à saisir [1].

CHAPITRE VII

SCINTILLATION DANS LES LUNETTES

On croit généralement que la scintillation n'existe pas dans les lunettes. Cette opinion, quoique professée par des hommes de génie, par Newton par exemple, est erronée, ainsi qu'on va le voir.

Simon Marius est le premier qui ait appliqué une lunette, et même une lunette sans oculaire, à l'observation de la scintillation. Voici ses propres paroles :

« Que celui qui a entre les mains une bonne lunette, en ôte le verre concave (l'oculaire), et qu'il substitue son œil au verre enlevé ; qu'il dirige ensuite la lunette vers l'étoile ou la planète dont il veut observer la scintillation.

« Il verra avec admiration ce que je vais dire, pourvu que le ciel soit bien clair et l'air bien tranquille.

« L'étendue du corps des étoiles et des planètes devient très-considérable, et la scintillation paraît comme une fulmination, ou une ébullition de la matière des étoiles. Pendant ce temps-là, on verra, par ordre et tour à tour,

1. Scheiner ajoute : « La Lune scintille rarement. » On se demande alors de quel phénomène Scheiner a entendu parler. Qu'est-ce que la scintillation de la Lune?

des couleurs déterminées et distinctes, en plus ou moins grand nombre, suivant les étoiles. Ainsi, pour les étoiles qu'on a jusqu'ici regardées comme étant de la nature de Mars, le rouge domine sur toutes les autres couleurs; tandis que dans le grand Chien, toutes les couleurs, le vert, le jaune, le rouge et le bleu, se succèdent dans le même ordre, avec à peu près le même éclat et la même abondance, en sorte qu'elles inspirent à l'observateur la plus profonde admiration, jointe au plus vif plaisir.

« Je laisse, ajoute l'auteur, l'explication de ce phénomène à de plus habiles que moi. »

On trouve dans Scheiner cette remarque : « Lorsqu'on regarde Sirius à travers une lentille convexe, il paraît par moment entièrement éteint et comme étouffé ; il se rallume ensuite tout à coup. »

Regarder à l'œil nu à travers une lentille convexe, comme le faisait Scheiner, c'était regarder à travers une lunette après en avoir ôté l'oculaire, comme l'a fait Simon Marius.

Si l'expérience n'avait pas été renouvelée avec des objectifs achromatiques, on pourrait supposer que, dans les observations de Marius et de Scheiner, le défaut de fixité de l'œil en présence de la série de foyers diversement colorés, d'une lentille simple, entrait pour quelque chose dans les phénomènes observés.

Hooke rapporte (*Micrographie*, page 218) qu'il a vu, au moyen d'une lunette, des petites étoiles scintiller, comme les petites étoiles visibles à l'œil nu. Dans le passage cité, Hooke ne parle pas de couleurs.

Venons à une observation de Nicholson, publiée en 1813.

L'auteur veut prouver que les étoiles scintillent dans les lunettes. Il prend un de ces instruments (achromatique), le laisse complet, mais pousse l'oculaire hors du foyer; il le dirige ensuite vers une étoile brillante, dont l'image devient un disque irrégulier, approchant de la forme circulaire d'un diamètre plus ou moins grand suivant la position où l'on a arrêté l'oculaire. Voici la traduction du passage où l'auteur décrit les phénomènes qu'on observe avec l'instrument ainsi disposé. L'analogie, la presque identité de ces phénomènes, avec ce que rapporte Simon Marius, n'échapperont pas au lecteur :

« Le disque circulaire de l'étoile a un tel genre de vacillation, qu'on croirait voir un certain nombre de disques passer successivement les uns devant les autres. Ces disques sont de couleurs différentes. L'illumination paraît venir de divers côtés. Du bleu, du bleu d'acier, du vert de pois, la teinte cuivre brillant, du rouge et du blanc, sont les couleurs les plus fréquentes. »

Toute théorie de la scintillation qui ne satisfera pas aux phénomènes que je viens de décrire, devra évidemment être rejetée comme erronée ou comme insuffisante.

Il est un second moyen, non moins instructif, d'appliquer la lunette à l'étude de la scintillation. Je m'en étais servi dès l'année 1812; mais Nicholson l'ayant publié avant moi (en 1813), c'est à lui qu'il faut reporter exclusivement l'honneur de la découverte. Je dois borner mes prétentions à ce sujet à quelques conséquences que l'emploi de ce moyen perfectionné m'avait fournies.

Laissons d'abord parler M. Nicholson :

« Après avoir dirigé sur Sirius une lunette achromatique de Ramsden, grossissant vingt-quatre fois, l'oculaire étant à la distance de la vision distincte, je frappai légèrement le tube à coups redoublés, avec les doigts de la main droite. L'image de l'étoile dansait dans le champ de la vision et formait une ligne lumineuse semblable à la traînée continue que donne un charbon enflammé qui se meut rapidement dans une courbe. A chaque secousse, l'étoile décrivait une courbe rentrante, mais si irrégulièrement contournée, que jamais deux des lignes successives ne coïncidaient entre elles. Je donnais environ dix coups par seconde. Les courbes étaient teintes des plus vives couleurs dans leurs diverses parties. Les plus remarquables de ces couleurs étaient le bleu verdâtre, le bleu d'acier, le marron ou couleur de cuivre très-intense. Il m'a semblé que chacune d'elles pouvait occuper un tiers ou un peu moins de l'étendue totale de la courbe. La lumière de Sirius changeait donc distinctement de couleur avant d'arriver à l'œil, au moins trente fois par seconde. »

Ce résultat numérique étonnera peut-être.

On doutera que Nicholson ait pu, avec le doigt, imprimer dix vibrations par seconde à sa lunette ; mais le nombre de ces vibrations n'eût-il été que de six à sept, la conséquence n'en serait pas moins curieuse.

Il résulte évidemment d'une expérience qui prouve qu'une étoile ne se montre à nous généralement qu'avec une partie de sa lumière, que la scintillation a pour effet nécessaire d'affaiblir les images des étoiles. C'est très-

rarement que ces astres s'aperçoivent avec leur éclat intrinsèque. Des étoiles qu'on a rangées dans la sixième grandeur parce que de temps en temps elles sont visibles à l'œil nu, peuvent donc disparaître habituellement. Une étoile qui aurait été classée dans la septième grandeur parce qu'elle serait ordinairement invisible, peut, quand le phénomène de la scintillation cesse tout à fait pour elle, devenir perceptible.

Hooke s'est assuré que les choses se passent comme je viens de le dire, relativement à certaines étoiles de sixième et de septième grandeur.

On voit quelle difficulté le phénomène de la scintillation doit apporter aux mesures destinées à déterminer l'éclat comparatif des différentes étoiles qui brillent au firmament.

Il m'a semblé curieux de rechercher à quelle limite de grandeur les diverses parties d'une étoile scintillante développée en ruban cesseraient de paraître colorées. M. Goujon, qui, à ma prière, a bien voulu faire cette expérience, a trouvé qu'on voit encore des couleurs quand on opère sur une étoile de sixième grandeur, et qu'il n'en reste aucune trace lorsqu'on observe une étoile de septième.

Nicholson n'avait observé que Sirius.

J'ai découvert un troisième moyen d'étudier la scintillation à l'aide des lunettes; je vais en donner la description.

Dès qu'on se servit de lunettes à petites ouvertures naturelles, ou, mieux encore, à ouvertures réduites à l'aide d'un couvercle percé d'un trou circulaire placé

devant l'objectif, on aurait pu voir, en s'éloignant du foyer, que l'image élargie des étoiles était percée dans son centre d'un trou obscur régulier. Je ne trouve dans les auteurs aucune observation de ce genre. Une remarque relative à l'existence simultanée de plusieurs trous est consignée dans les ouvrages de Simon Marius et de Scheiner; mais les trous dont ils parlent n'occupent pas les centres des images et ils sont irréguliers. Ces deux auteurs les attribuent aux imperfections de la matière dont l'objectif était formé.

Voici, en effet, comment s'exprime Marius :

« Les disques des étoiles fixes et des planètes paraissent, dans chaque position de l'oculaire, percés de plusieur trous, ce qui tient à la nature du verre convexe.

Scheiner emploie à peu près les mêmes termes.

Les trous obscurs dont parlent Marius et Scheiner existent aussi pour certains yeux, dans les images confuses des étoiles et des lumières terrestres observées sans lunettes, mais avec ce caractère particulier, que le nombre et la position de ces trous changent souvent du jour au lendemain. Ce n'est pas de cela qu'il va être question. Le phénomène dont je vais parler est constant, parfaitement régulier et le même pour tous les yeux. La description que je vais en donner diffère à peine de celle que je publiai dans le tome XXVI des *Annales de chimie et de physique*, page 431, année 1824 [1].

Quand on place, devant l'objectif d'une lunette astronomique achromatique, un couvercle percé d'une ouver-

1. Voir l'Appendice qui termine cette Notice.

ture circulaire d'un diamètre réduit, de 3 à 4 centimètres par exemple, les images des étoiles au foyer sont rondes, bien terminées et entourées d'une série d'anneaux lumineux et obscurs, très-déliés et très-serrés. L'éclat de ces anneaux varie incessamment sur les diverses parties de leurs contours : souvent, en quelques points, il y a disparition totale.

Tout restant dans le même état, si l'on enfonce peu à peu l'oculaire, on verra l'image de l'étoile se dilater graduellement, et bientôt une tache noire, ronde, tranchée, un véritable trou obscur se formera dans le centre. La distance du foyer à laquelle on observera cette tache variera avec le diamètre de l'ouverture placée devant l'objectif.

Un nouveau mouvement de l'oculaire, dans le même sens, amènera d'abord la dilatation de la tache obscure, et ensuite la naissance d'un petit disque lumineux qui en occupera le milieu. L'image de l'étoile, en allant du centre à la circonférence, sera alors ainsi composée : disque lumineux, large anneau obscur, large anneau lumineux. Dans une troisième position de l'oculaire plus voisine encore de l'objectif, le centre de l'image sera obscur ; à l'anneau large et brillant qui entourera ce centre succédera un anneau sombre, suivi à son tour d'un anneau lumineux.

Tout le monde savait que, par un simple déplacement de l'oculaire d'une lunette, on peut donner à l'image confuse d'une étoile des dimensions de plus en plus considérables ; mais j'ignore si l'on avait remarqué que pendant ce déplacement, lorsque les dimensions de l'objectif

sont suffisamment réduites pour une distance focale déterminée, le centre de l'image devient périodiquement un disque obscur ou lumineux, circulaire et bien terminé.

Supposons, pour un moment, que l'oculaire de la lunette soit dans une de ces positions où le centre de l'image de l'étoile, encore tout à fait obscur, est près de devenir lumineux. Si l'étoile ne scintille point, la forme de son image reste constante; quand l'étoile scintille légèrement, un petit point lumineux apparaît de temps en temps au milieu de la tache noire, comme si, dans cet instant, on avait légèrement enfoncé l'oculaire. Lorsque la scintillation est fréquente, les changements de cette espèce sont continuels.

Toutes ces circonstances découlent simplement, comme on le verra plus loin, de l'explication du phénomène que j'ai conçue.

Je n'ajoute qu'un mot pour terminer : j'ai indiqué le mouvement de l'oculaire vers l'objectif comme un moyen de faire naître successivement au centre de l'image d'une étoile des taches obscures et lumineuses; en éloignant l'oculaire de l'objectif, on observe des phénomènes analogues; mais ils ont moins de netteté et sont compliqués de quelques effets de coloration. M. Brewster avait annoncé, dans son *Traité sur les instruments astronomiques*, que les images circulaires des étoiles, ou les sections faites dans les cônes de rayons qui se réunissent au foyer d'une lunette, ne sont jamais aussi distinctes ni aussi bien définies au delà de ce foyer qu'avant le croisement de la lumière; je rappelle les observations de l'illustre physicien écossais pour faire remarquer qu'elles n'ont

aucun rapport avec celles qui précèdent : il parle, en effet, du contour de l'image, et j'ai seulement voulu porter l'attention du lecteur sur les modifications qu'éprouve son centre.

CHAPITRE VIII

DE L'INFLUENCE DES OSCILLATIONS SUR LES IMAGES PRODUITES DANS LES LUNETTES

Bien des personnes éprouvant un peu de difficulté à concevoir comment, ainsi que nous l'avons admis dans le chapitre précédent, une petite oscillation imprimée à une lunette transforme l'image très-concentrée d'une étoile en un long ruban de lumière, entrons, à cet égard, dans quelques détails.

Une lunette bien réglée se compose de deux lentilles, l'objectif et l'oculaire, dont les axes se correspondent, dont les axes sont situés sur le prolongement l'un de l'autre.

L'image d'une étoile, que, pour simplifier les idées, je supposerai immobile, se formera toujours dans la direction de la ligne joignant cette étoile et le centre de l'objectif.

Si cette ligne rencontre l'objectif perpendiculairement, en d'autres termes, si elle coïncide avec son axe, l'image occupera le milieu de ce qu'on appelle le champ. Dans le cas contraire, elle sera plus ou moins excentrique, suivant que l'axe de l'objectif et le rayon venant de l'étoile seront plus ou moins inclinés l'un par rapport à l'autre.

Supposons que les rayons qui ont concouru à la forma-

tion de l'image, prolongés au delà, sortent de la lunette et entrent dans l'œil par l'action de l'oculaire, parallèlement entre eux, parallèlement, en outre, à la ligne qui joint l'image et le centre de cette même lentille oculaire. Il est évident que la direction de cette ligne ou du faisceau parallèle qui pénètre dans l'œil, détermine le point de la rétine où va définitivement se peindre l'étoile.

Admettons maintenant (la lunette restant immobile, les rayons de l'étoile tombant perpendiculairement sur l'objectif, l'image occupant le centre du champ), admettons qu'on fasse marcher horizontalement l'oculaire de droite à gauche ou de gauche à droite. A chaque position correspondra sur la rétine une image plus ou moins éloignée de l'image primitive, mais toujours placée, relativement à elle, dans la position horizontale.

Supposons que le mouvement de l'oculaire dans toute sa course s'effectue dans un temps plus court qu'il ne faut pour que chaque image de l'étoile ne s'efface (en moins d'un septième de seconde, suivant l'expérience de d'Arcy), et l'étoile sera transformée en une ligne continue de lumière horizontale.

Un mouvement vertical de l'oculaire aurait donné une ligne continue de lumière verticale; un mouvement incliné, une ligne de lumière inclinée. Conséquemment, un mouvement curviligne de l'oculaire suffisamment rapide, transformerait l'étoile en un ruban curviligne et continu de lumière.

Les mouvements que je viens de décrire ont consisté uniquement dans le déplacement de l'oculaire relativement à l'image focale; or on arrivera exactement au

même déplacement en dirigeant successivement la lunette à gauche, à droite de l'étoile ; en la pointant un peu plus haut ou un peu plus bas, etc. Ces déplacements, en effet, ont pour résultat de faire naître l'image de l'étoile à gauche, à droite, en haut, en bas, etc., du centre de la lunette, du centre où elle existait primitivement : la position de cette image, dans l'espace, reste constante ; les parois du tuyau de la lunette, au contraire, s'approchent ou s'éloignent par un côté ou par l'autre du lieu qu'elle occupe, suivant le sens du mouvement qu'on leur a imprimé ; et si l'on se rappelle que l'oculaire est supposé maintenant lié à la lunette d'une manière invariable, que son axe prolongé coïncide constamment avec l'axe du tuyau, on concevra que tout déplacement de l'image, relativement à telle ou telle partie du tuyau, est inévitablement accompagné d'un déplacement correspondant de l'oculaire relativement à cette même image, et que ces déplacements auront le même effet que si, l'image étant fixe, l'oculaire avait marché.

Lorsqu'on voudra régulariser ces mouvements, dans la vue de substituer des mesures à de simples aperçus, les constructeurs décideront si des déplacements réguliers et rapides de l'oculaire ne sont pas plus faciles à produire mécaniquement que des oscillations de la lunette.

CHAPITRE IX

LES ÉTOILES, QUELLE QUE SOIT LEUR GRANDEUR, SCINTILLENT-ELLES ÉGALEMENT QUAND ELLES SONT PLACÉES A LA MÊME HAUTEUR AU-DESSUS DE L'HORIZON? Y A-T-IL, AU CONTRAIRE, SOUS LE RAPPORT DE LA SCINTILLATION, DES DIFFÉRENCES SPÉCIFIQUES ENTRE DES ÉTOILES DE MÊME GRANDEUR OU DE GRANDEUR DIFFÉRENTE?

Roger Bacon disait que toutes les étoiles ne scintillent pas, que le phénomène est surtout apparent dans les étoiles brillantes; il ajoute : « Que de même qu'un éclat trop faible ne suffit point à la scintillation, de même un éclat trop vif confond le sens de la vue, l'absorbe tout entier, de telle sorte que la trépidation n'est plus perçue. »

Scaliger place la grandeur d'un astre au nombre des causes qui favorisent sa scintillation.

Kepler cite, à l'appui de cette remarque, l'étoile nouvelle de 1604 : « D'abord son éclat, dit-il, répondit à sa grandeur extrême; elle décrut, et sa scintillation s'affaiblit. »

Il y a dans ces passages un peu de confusion. Aucun moyen d'observation ne permit, en 1604, de mesurer la grandeur de l'étoile nouvelle. L'observation de Kepler, convenablement interprétée, se réduit à ceci : la scintillation de l'étoile de 1604 diminua avec son éclat.

Gassendi affirme que les petites étoiles scintillent moins que les grandes.

Hooke (*Micrographie*, page 218) parle de la scintillation des étoiles de sixième grandeur.

« Cette scintillation, ajoute-t-il, amène de temps en temps leur disparition complète. »

Kepler, dans son ouvrage sur la nouvelle étoile de 1604, dit que toutes les étoiles n'ont pas le même degré de scintillation, quoique leur grandeur et leur hauteur au-dessus de l'horizon soient les mêmes.

Dans son *Astronomiæ pars optica*, Kepler caractérise en ces termes les différences en question :

« Sirius offre des scintillations plus marquées et à des intervalles plus éloignés que Arcturus.....

« On observe des scintillations très-fréquentes dans le cœur du Scorpion. On n'en observe que de très-lentes dans l'œil du Taureau. La Chèvre et la Lyre ont le même éclat; cependant on ne distingue aucun changement de couleur dans la Lyre, tandis qu'ils sont très-nombreux dans la Chèvre, particulièrement la couleur pourpre. »

Lalande prétend que α du Lion (Régulus) scintille plus que l'Épi de la Vierge, quoique cette dernière étoile lui paraisse un peu plus lumineuse que l'autre.

M. Forster, portant particulièrement son attention sur le changement de couleur, lequel pourrait bien être identique avec la scintillation, signale entre diverses étoiles les différences suivantes :

« Antarès, α d'Orion et quelques autres étoiles rouges (?) présentent ces changements de couleur avec beaucoup d'intensité, surtout Antarès; tandis qu'ils sont faibles dans Sirius et d'autres étoiles brillantes et blanches. On ne les observe pas dans Procyon; ils sont faibles dans la Chèvre, et très-considérables, au contraire, dans α de la Lyre et Arcturus. Antarès est toutefois l'étoile dans laquelle on les observe le plus aisément. »

Il y a, comme on voit, une différence manifeste entre

les résultats de Kepler et ceux de M. Forster. Le premier signale la Lyre comme une étoile dans laquelle les changements de couleur sont insensibles ; le second cite cette étoile parmi celles où ces changements atteignent la plus forte intensité. Les conclusions sont également contradictoires relativement à la Chèvre. Suivant Kepler, cette étoile scintille beaucoup ; suivant M. Forster, elle scintille peu, ce qui me paraît contraire aux faits.

Ces discordances, ces contradictions ne disparaîtront qu'après qu'on aura inventé un *scintillomètre.* Nous reviendrons sur cet objet plus loin.

Je ne crois pas toutefois qu'il soit nécessaire d'attendre l'invention d'un scintillomètre pour se prononcer sur une assertion de Scheiner, suivant laquelle la scintillation aurait d'autant plus d'intensité que l'étoile serait plus boréale. Il n'est nullement besoin d'instruments pour oser affirmer que la distinction entre les étoiles boréales et australes n'a aucun fondement.

CHAPITRE X

INFLUENCE SUPPOSÉE DES DISTANCES DES ASTRES SUR LEUR SCINTILLATION

Copernic croit à l'influence de la distance des astres sur leur scintillation ; témoin ce passage de son ouvrage, liv. I, chap. X :

« Qu'il y ait une énorme distance entre Saturne, la plus éloignée des planètes, et la sphère des étoiles fixes, c'est ce que démontre la scintillation de celles-ci, car c'est ce caractère qui les distingue surtout des planètes. »

Copernic n'avait évidemment observé la scintillation d'aucune planète. Mais, lorsque Tycho soutient aussi que la scintillation des astres est dépendante de leur distance ; lorsque, dans le tome 1[er] des *Progymnasmata*, chapitre VI, p. 401, il dit, à l'occasion de l'étoile nouvelle de 1572 : « La belle, la brillante scintillation de cet astre démontre qu'il se trouvait dans la suprême et immense région des fixes ; bien loin, par conséquent, de celle où s'opèrent les révolutions des planètes, » on se demande comment Tycho peut concilier ces paroles avec les observations qu'il a faites de la scintillation de Mercure et de Vénus.

Quant à Kepler, il entend prouver que la distance n'influe pas sur la scintillation, en faisant remarquer que tandis que Mercure et Vénus, planètes voisines, scintillent beaucoup, Jupiter et Saturne, planètes éloignées, ne scintillent pas. Mais dans ce raisonnement Kepler oublie l'angle sous-tendu qui peut influer et qui influe réellement beaucoup.

CHAPITRE XI

QUELLES MODIFICATIONS LES CIRCONSTANCES ATMOSPHÉRIQUES APPORTENT-ELLES A LA SCINTILLATION ?

Quand l'atmosphère est humide et agitée par des vents impétueux, dit Kepler (*Stella nova*), les astres ont une vive splendeur ; ils paraissent grands, et leur scintillation a plus d'intensité.

Dans un autre endroit il s'exprime ainsi : « Il est faux que la scintillation tienne à des changements dans l'atmosphère. »

Scheiner assure avoir observé aussi que le phénomène de la scintillation est plus apparent dans un temps humide que dans un temps sec.

Pour combattre l'idée que la scintillation dépend d'exhalaisons ou de vapeurs répandues dans l'atmosphère, Musschenbroek remarque qu'en Hollande, « lorsqu'il fait excessivement froid, lorsque la gelée est intense et que le temps est serein en hiver, toutes les étoiles scintillent très-vivement. »

M. de Humboldt assure que, dans les régions tropicales, l'arrivée de la saison des pluies est annoncée plusieurs jours à l'avance par la scintillation des étoiles élevées.

M. Biot dit que la scintillation s'observe principalement aux approches de la pluie, lorsqu'elle va suivre une longue sécheresse. « Le tremblement des étoiles est alors si marqué, ajoute-t-il, qu'il devient un signal pour les matelots. » (*Traité d'astronomie physique*, tome Ier, p. 289, 3e édition.)

Le *Traité de météorologie* de M. Kæmtz renferme l'observation suivante :

« La scintillation est très-marquée quand des vents violents règnent dans l'atmosphère, et quand le ciel est alternativement serein et couvert. »

Je réunirai maintenant les observations d'où il paraît résulter que, dans certains lieux et dans certaines saisons, les étoiles scintillent peu ou ne scintillent pas du tout.

La Condamine disait avoir constate que, dans la portion du Pérou où il ne pleut pas, la scintillation est

moindre que dans nos climats. (*Mémoires de l'Académie des sciences*, 1743, p. 31.)

Garcin annonçait à l'Académie des sciences, en 1743, qu'à Bender-Abassi, sur le golfe Persique, pendant la sécheresse extraordinaire qui règne dans ce port, au printemps, en été et en automne, les étoiles ne scintillent pas. « Leur lumière, dit-il, est pure, ferme, éclatante, sans nul étincellement. Ce n'est qu'au milieu de l'hiver que la scintillation, quoique très-faible, se fait apercevoir[1]. »

Garcin ajoutait qu'au Bengale, par la latitude de Bender, mais dans un climat humide, il avait vu les étoiles scintiller.

Au retour de son voyage dans l'Inde, Le Gentil assurait qu'à Pondichéry, dans les mois de janvier et de février, les étoiles n'ont aucune scintillation. (*Mémoires de l'Académie des sciences*, 1771, page 264.)

Beauchamp écrivait à Lalande qu'à Bagdad les étoiles ne scintillaient plus dès qu'elles étaient parvenues à 45 degrés de hauteur au-dessus de l'horizon.

Citons maintenant les ouvrages de M. de Humboldt, ce savant illustre, à qui rien n'a échappé dans ses voyages; nous y trouverons des faits moins absolus que ceux qui précèdent, et qui, par cela même, doivent inspirer plus de confiance.

Au commencement d'avril, sur les bords de l'Orénoque, par une atmosphère très-humide, aucune scintillation ne se faisait remarquer dans les étoiles, pas même à 4 ou

1. Garcin dit qu'à Bender-Abassi, le printemps, l'été, l'automne se passent sans qu'il se dépose la moindre rosée.

5 degrés de hauteur au-dessus de l'horizon. (*Relation historique*, t. II, p. 236.)

Dans la vallée de Tuy (Venezuela), par 10° 17′ de latitude nord, le 9 février, malgré une extrême sécheresse, M. de Humboldt voyait les étoiles scintiller jusqu'à 80 degrés de hauteur. (*Relation historique*, t. II, p. 48.)

Ordinairement la scintillation n'est pas sensible à Cumana au-dessus de 25 degrés de hauteur. Cependant, les 24 et 26 octobre, le thermomètre étant descendu rapidement à 23 degrés centigrades, elle devint très-apparente jusqu'au zénith. M. de Humboldt croit, en général, que, dans cette localité particulière, le phénomène se manifeste moins sous l'influence de l'humidité qu'à cause de quelque refroidissement subit de l'atmosphère. Sa cause principale serait ainsi le mélange de courants ascendants et descendants de températures différentes. (*Relation historique*, t. II, p. 317.)

Ussher disait, en 1788 : « J'ai toujours remarqué que les aurores boréales rendent les étoiles singulièrement ondulantes dans les télescopes [1]. »

M. Necker de Saussure assure que les étoiles ne scintillent pas en Écosse, à moins qu'il n'y ait une aurore boréale visible [2].

Ce résultat, extrêmement singulier, mérite, à tous égards, de fixer l'attention des excellents observateurs dont l'Écosse fourmille.

Il faudra beaucoup rabattre des opinions courantes sur

1. Notice sur les aurores boréales, t. Ier des *Notices scientifiques*, t. IV des Œuvres, p. 568.

2. *Ibidem*, p. 694.

la scintillation observée au sommet des hautes montagnes, s'il faut en croire ce que rapporte Saussure de ses observations sur le col du Géant :

Au col du Géant, dit le célèbre naturaliste, on vit toujours une scintillation très-forte dans les étoiles voisines de l'horizon, dans la Chèvre, par exemple. « Le 2 juillet, à minuit, la Lyre, le Cygne, l'Aigle et leurs égales en hauteur, n'en avaient absolument aucune. Au contraire, le 6 (malheureusement l'heure n'est pas indiquée), je voyais beaucoup de scintillation à Arcturus, assez à l'Aigle, un peu au Cygne. La Lyre seule en était exempte. » (*Voyage au col du Géant,* t. IV, p. 301.)

Toutes ces observations ont besoin d'être répétées par des méthodes moins sujettes à erreur. Ce sera alors seulement qu'on pourra inscrire dans la science, comme des faits constants, qu'il existe des lieux, des saisons, des jours et des hauteurs où les étoiles n'éprouvent aucune scintillation.

CHAPITRE XII

MODIFICATION QUE LA HAUTEUR AU-DESSUS DE L'HORIZON APPORTE AU PHÉNOMÈNE DE LA SCINTILLATION

Scheiner et la généralité des observateurs qui ont traité de la scintillation disent que les étoiles scintillent d'autant plus qu'elles sont plus voisines de l'horizon.

Ceci est vrai en ce sens que le phénomène est plus facilement observable près de l'horizon qu'à certaines hauteurs.

Toutefois, on trouve dans la *Micrographie* de Hooke l'observation suivante, remarquable par sa finesse :

« On observe que la scintillation, près de l'horizon, n'est pas à beaucoup près aussi rapide, aussi soudaine, dans le passage d'un état de l'étoile à l'état suivant, que dans les scintillations des étoiles situées près du zénith. »

CHAPITRE XIII

LA SCINTILLATION D'UNE ÉTOILE EST-ELLE LA MÊME POUR DES OBSERVATEURS DIVERSEMENT PLACÉS?

Voici comment s'explique Kepler à ce sujet, *Astronomiæ pars optica :*

« Je me suis adjoint plusieurs personnes qui, à l'instant où elles observaient un changement dans la lumière d'une étoile, l'indiquaient par un signe. Nous avons toujours remarqué que le phénomène qui frappait l'observateur muet était à l'instant dénoncé par l'autre. »

Rien de plus net, de plus catégorique que ce résultat. Cependant, lorsque je me rappelle les changements excessivement rapides observés dans Sirius, j'ai peine à concevoir la possibilité de l'expérience, certainement très-intéressante, faite par Kepler et ses collaborateurs.

Cette expérience ne contribua pas peu, je suppose, à persuader à Kepler que la scintillation n'est pas un phénomène atmosphérique, et qu'elle dépend, en très-grande partie, de changements réels qui s'opèrent dans la substance des astres. Elle mérite donc d'être répétée. Voici, ce me semble, comment on pourra s'y prendre :

On se servira, non pas d'une lunette ordinaire, mais d'un héliomètre, c'est-à-dire d'une lunette à objectif par-

tagé par le milieu. On aura ainsi, à volonté, deux images distinctes d'une même étoile et vues simultanément : l'image, que je suppose formée par les rayons qui tombent sur la moitié orientale de l'objectif, et l'image provenant des rayons qui tombent sur la moitié occidentale légèrement déplacée. Cela fait, on appliquera à ces deux images le procédé que j'ai décrit (p. 12) quand nous nous occupions de l'image unique d'une lunette ordinaire ; on les transformera en deux rubans lumineux, par une légère vibration du tuyau de l'héliomètre. Je me hasarde à prédire que les deux images en ruban seront dissemblables, contrairement au résultat de Kepler, et quoique dans cette expérience on ait soumis à l'épreuve comparative des rayons séparés originairement, non de plusieurs mètres, mais de quelques centimètres seulement.

CHAPITRE XIV

DES COULEURS COMPLÉMENTAIRES

L'explication de la scintillation que je vais donner, reposant sur des propriétés de la lumière peu connues du public, je commencerai par les signaler à l'attention du lecteur le plus clairement qu'il me sera possible. Je ferai toutefois précéder cette exposition de quelques détails indispensables sur les couleurs complémentaires.

Toutes les étoiles du firmament devenant vivement colorées dans l'acte de la scintillation, il y a indubitablement quelques-uns des rayons dont leur lumière se compose qui n'agissent pas alors sur l'œil, soit qu'ils aient

été arrêtés au moment de leur pénétration dans l'organe, soit que leur effet ait été détruit avant qu'ils aient atteint la rétine, ou sur la surface même de cette membrane. Il nous sera donc utile de savoir quelle couleur prend la lumière blanche lorsqu'on en sépare quelques-uns des rayons constituants.

Il existe plusieurs moyens de résoudre ce problème; je n'en citerai qu'un seul.

Qu'on superpose deux lentilles de verre d'un long foyer. Si on les expose à de la lumière blanche, on verra autour du point de contact une série d'anneaux colorés, tant par réflexion que par transmission. Ces anneaux résultent de la décomposition que la lumière blanche a éprouvéè aux épaisseurs diverses de la lame d'air comprise entre les deux lentilles. La partie de cette lumière qui manque dans l'anneau réfléchi se trouve en entier dans l'anneau transmis, comme on le prouve en faisant arriver simultanément à l'œil les deux séries d'anneaux provenant de deux faisceaux blancs également intenses. Alors, en effet, toute trace d'anneaux disparaît; les anneaux transmis neutralisent, ou, si on l'aime mieux, blanchissent les anneaux réfléchis.

En comparant donc les couleurs individuelles des anneaux correspondants, des anneaux de même diamètre, réfléchis et transmis, on connaîtra une série de teintes complémentaires, une série de teintes qui réunies forment du blanc.

On trouve dans l'*Optique* de Newton, une comparaison de divers anneaux réfléchis et transmis correspondants ou de même diamètre. Voici les résultats :

	Anneaux réfléchis.	Anneaux correspondants transmis.
Premier anneau......	Rouge.	Bleu.
Deuxième anneau.....	Rouge.	Bleu.
Troisième anneau.....	Rouge.	Bleu verdâtre.
Quatrième anneau....	Rouge.	Vert bleuâtre.
Premier anneau......	Jaune.	Violet.
Deuxième anneau.....	Jaune.	Violet.
Premier anneau......	Vert.	Rouge.
Deuxième anneau.....	Vert.	Rouge.

Il y a donc divers genres de rouge; il existe des couleurs qui, sans cesser de porter le nom de rouge, peuvent avoir pour nuance complémentaire : du bleu, du bleu verdâtre, du vert bleuâtre, du vert.

Le jaune a toujours pour couleur complémentaire le violet.

En soustrayant d'un faisceau de lumière blanche une couleur élémentaire rouge, ou un ensemble de couleurs donnant à peu près la même teinte, le faisceau restant peut être ou bleu, ou vert bleuâtre, ou vert. En soustrayant d'un faisceau blanc, du jaune ou du violet, ce qui reste est respectivement violet ou jaune.

Ces notions sont tout ce dont nous aurons besoin pour arriver au but que nous avons en vue.

CHAPITRE XV

DES INTERFÉRENCES; DES LOIS QUI LES RÉGISSENT

Soient O (fig. 1, p. 32) un point d'où rayonne de la lumière homogène, du rouge par exemple; A et B deux

miroirs réfléchissants[1] qui renvoient au même point P d'un écran les rayons également vifs OA, OB. Supposons que la figure OABP soit un losange; que la longueur de la route OAP parcourue par l'un des rayons égale le trajet OBP qu'a fait l'autre rayon pour aller aussi de O en P.

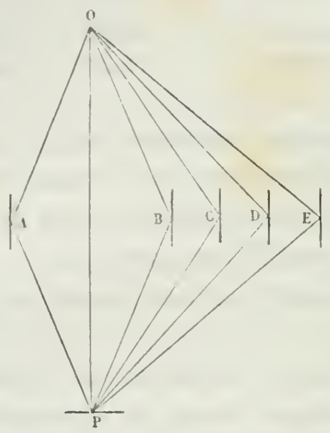


Fig. 1. — Expérience des interférences.

Chaque rayon pris isolément éclaire le point P d'une certaine manière; les deux rayons réunis y produiront une intensité bien supérieure.

Imaginons maintenant que le miroir B marche graduellement de gauche à droite en restant toujours parallèle à lui-même. Les rayons OC, OD, etc., qu'il enverra au point P, dans chacune de ses nouvelles positions,

1. La disposition des miroirs que la figure représente n'est pas celle à laquelle les physiciens ont ordinairement recours pour vérifier les lois des interférences. Mais celle que j'ai adoptée ici me paraît plus propre à rendre les phénomènes sensibles aux personnes peu habituées aux considérations géométriques.

auront parcouru des chemins OCP, ODP, etc., d'autant plus différents de OBP, ou, ce qui est la même chose, de OAP, que la position actuelle du miroir sera plus éloignée de la position primitive B.

Revenons à cette position primitive et examinons attentivement P, pendant que le miroir B s'avance progressivement vers la droite. D'abord ce point était très-éclairé, par suite de l'action simultanée des rayons OAP et OBP; ensuite son intensité diminue peu à peu et d'une manière graduelle à mesure que le miroir se déplace; bientôt enfin on arrive à une position C, pour laquelle P est d'une obscurité complète, quoique deux rayons OAP et OCP viennent s'y croiser. Dès qu'on a dépassé la position C, la lumière en P renaît; elle acquiert son intensité maximum quand le miroir est en D, par exemple, et disparaît une seconde fois si l'on atteint la position E. Le mouvement continué dans le même sens au delà de E donne indéfiniment lieu à des apparitions et à des disparitions successives de la lumière au point P.

Pour mettre dans une entière évidence les conséquences qui découlent inévitablement de cette expérience, arrêtons-nous un instant à l'une des positions C du miroir réfléchissant, pour laquelle P est complétement obscur, et plaçons successivement un écran opaque sur les chemins OAP et OCP; nous constaterons ainsi que chacun de ces rayons, pris isolément, éclaire parfaitement le point P; l'obscurité résulte de leur réunion.

Deux rayons lumineux homogènes partant d'un même point peuvent donc, suivant les circonstances, s'ajouter, se détruire en partie ou s'anéantir complétement; on

peut, quelque extraordinaire que cela puisse paraître, produire de l'obscurité en ajoutant de la lumière à de la lumière. L'action par laquelle deux rayons s'ajoutent ou se détruisent a été appelée du nom d'*interférence.*

En quoi consistent maintenant les circonstances qui font que deux rayons de même origine s'ajoutent ou se détruisent? Ces circonstances sont les différences des chemins parcourus par ces rayons depuis leur commune origine jusqu'au point de leur croisement en P sur l'écran.

Les rayons s'ajoutent lorsque la différence des chemins parcourus est nulle.

Soit d la première, la moindre différence de chemins parcourus pour laquelle les rayons s'ajoutent de nouveau, c'est-à-dire la différence correspondant au miroir réfléchissant D.

Les rayons s'ajouteront pour toutes les différences de routes comprises dans la série :

$$0, \quad d, \quad 2\,d, \quad 3\,d, \quad 4\,d, \text{ etc.}$$

Ils se détruiront, au contraire, complétement, pour toutes les différences de chemins parcourus, comprises dans la série :

$$\tfrac{1}{2}\,d, \quad d+\tfrac{1}{2}\,d, \quad 2\,d+\tfrac{1}{2}\,d, \quad 3\,d+\tfrac{1}{2}\,d, \text{ etc.}$$

Pour les différences de routes d'une valeur comprise entre les termes de ces deux séries, les rayons s'ajouteront ou se détruiront partiellement.

Le résultat de la réunion de deux rayons sera d'autant plus près de son maximum d'éclat ou d'autant plus près

d'un anéantissement absolu, que la différence des chemins parcourus approchera davantage d'un des termes de la série :

$$0,\quad d,\quad 2d,\quad 3d, \text{ etc.}$$

ou de ceux de la série :

$$\tfrac{1}{2}d,\quad d+\tfrac{1}{2}d,\quad 2d+\tfrac{1}{2}d, \text{ etc.}$$

La quantité d qui détermine les circonstances périodiques d'addition ou de soustraction de deux rayons, varie avec leur couleur, ce qui revient à dire, géométriquement parlant, que les positions C, D, E, etc., du miroir réfléchissant mobile de droite, correspondantes, respectivement, 1° à la première destruction des rayons croisés; 2° à leur addition; 3° à une seconde destruction, etc., sont différentes suivant la place qu'occupent dans le spectre prismatique les rayons sur lesquels on opère.

En point de fait, on trouve que la quantité d est égale à $0^{\text{mill}}.00041$ pour les rayons violets extrêmes; à $0^{\text{mill}}.00049$ pour le bleu verdâtre; à $0^{\text{mill}}.00053$ pour le vert jaunâtre; à $0^{\text{mill}}.00060$ pour l'orangé-rouge, et à $0^{\text{mill}}.00064$ pour le rouge extrême. Le changement total de d, du violet extrême au rouge extrême, est donc de $0^{\text{mill}}.00023$.

Substituons au point rayonnant O, d'où partait de la lumière homogène, un point rayonnant d'où émanera de la lumière blanche, et recommençons la même série d'essais en faisant marcher de nouveau le miroir B vers la droite.

Dans la position initiale B, les rayons de toute couleur que ce miroir réfléchit, sont d'accord en P avec

ceux que réfléchit le miroir A. Le point P est donc très-brillant et blanc.

En marchant graduellement de B vers la droite, le miroir arrive d'abord à une position correspondante à la destruction des rayons violets. Le point P est alors blanc moins le violet, c'est-à-dire jaune.

Quand le miroir arrive à une position correspondante à la destruction des rayons rouges, P sera du blanc moins le rouge, ou du bleu; et ainsi de suite pour toutes les positions intermédiaires.

Rigoureusement parlant, pour déterminer les couleurs du point P résultant de la suppression des rayons violets, rouges, etc., il faudrait tenir compte des affaiblissements partiels éprouvés par les rayons qui, dans l'ordre prismatique, occupent des places voisines des rayons annulés. Le blanc résulte, en effet, de mélanges de rayons colorés qui ont besoin d'être complémentaires, non-seulement en couleur, mais encore en intensité. Mais ces détails minutieux sont inutiles quant au but que nous nous proposons. Il nous suffit d'avoir montré que deux rayons blancs de même origine donnent, par leur superposition, du rouge, du jaune, du bleu, etc., suivant que la différence des chemins parcourus par ces deux rayons a telle ou telle valeur.

Passons à d'autres considérations non moins curieuses.

La différence des chemins parcourus par deux rayons n'est pas le seul élément qui détermine le mode de leur interférence. La nature, ou plutôt la réfringence des milieux traversés, joue aussi un rôle essentiel dans le phénomène.

Reprenons notre premier appareil, et plaçons sur le trajet des rayons deux tubes d'une égale longueur, fermés hermétiquement par des plans de verre de même épaisseur. Supposons encore qu'il ne parte du point rayonnant O que de la lumière homogène.

Tout étant égal de part et d'autre, si l'air renfermé dans les deux tubes est le même, également pur, et a la même densité, les expériences réussiront exactement comme avec l'appareil primitif : l'interposition des deux plaques de verre qui ferment le tube de gauche, l'interposition simultanée des plaques de verre toutes pareilles qui ferment le tube de droite, ne changent nullement le caractère du phénomène; si les rayons homogènes qui, partis de O, vont se croiser au point P sont d'accord, ils y produisent une lumière très-intense.

Supposons maintenant qu'on établisse une communication entre le tube de gauche et une machine pneumatique, à l'aide de laquelle on puisse diminuer graduellement la densité de l'air contenue dans ce tube. En faisant fonctionner la machine, le point P sera successivement éclairé et obscur; éclairé pour une certaine série de densités de l'air, obscur pour une autre série.

On observera soigneusement cette circonstance importante, que la série des densités qui correspond aux destructions ou aux additions successives des rayons est différente suivant les couleurs; qu'une densité pour laquelle les rayons rouges sont anéantis laisse intacts les rayons bleus; en sorte que si le point O, au lieu d'émettre des rayons homogènes, émet de la lumière blanche, le point P, pendant le mouvement graduel de la pompe,

passera, à autant de reprises qu'on le voudra, par toutes les couleurs prismatiques : par le rouge, quand la densité de l'air dans le tube de gauche correspondra à la destruction des rayons verts; par le jaune quand, à raison de cette même densité, ce seront les rayons violets qui se détruiront mutuellement, etc.

Je dois ajouter que ces curieux phénomènes ont lieu pour des différences de densités très-minimes, même avec des tubes de très-petites longueurs, comme d'un mètre par exemple. Avec cette longueur, il suffit d'une diminution d'environ un millimètre dans la force élastique de l'air contenu dans le tube de gauche, la force élastique dans l'autre tube étant de 760 millimètres, pour faire passer les rayons de la période d'accord à celle de destruction. Il faudrait une différence de densité proportionnellement plus faible si les tubes devenaient plus longs.

Tout restant dans le même état, si, à force élastique égale, on renferme dans le tube de gauche de l'air plus ou moins humide et dans le tube de droite de l'air plus ou moins sec, on observera, dans les interférences des rayons au point P, des effets exactement pareils à ceux qui étaient déterminés par des variations de densité. Les vapeurs provenant de l'alcool, des éthers, etc., agissant seules ou mêlées à l'air, conduiront à des résultats analogues.

Dans ces diverses expériences nous sommes partis d'un état initial où les rayons provenant de O se croisaient en P, après avoir parcouru des chemins exactement égaux entre eux. A cet état initial on peut en substi-

tuer un autre jouissant précisément des mêmes propriétés, quoique les chemins parcourus par les deux rayons qui, partis de O, vont se croiser en P, soient très-inégaux.

Il suffit pour cela que, si l'un des chemins, celui de droite par exemple, est plus long que le chemin de gauche, le rayon de ce dernier côté trouve sur sa route une épaisseur suffisante d'un milieu plus réfringent que celui à travers lequel le rayon de droite s'est propagé.

La théorie à l'aide de laquelle on détermine les réfringences et les épaisseurs comparatives des milieux qui se font ainsi compensation, qui placent deux rayons dans les mêmes conditions d'interférence que s'ils avaient parcouru l'un et l'autre, avant leur croisement, des routes égales dans le même milieu, dans le vide, dans l'air, etc., doit prendre le nom de *théorie des équivalents optiques*[1].

1. Si, au lieu d'opérer sur un rayon isolé ou plutôt sur un faisceau réduit à de très-faibles dimensions transversales, à l'aide d'ouvertures percées dans des diaphragmes, on laisse deux faisceaux divergents et homogènes, ayant une origine commune, se croiser dans l'espace, on verra simultanément des bandes lumineuses parallèles, résultant de l'interférence des rayons qui ont parcouru des chemins égaux ou différant entre eux de 0, de d, de $2d$, de $3d$, etc., et des bandes obscures provenant de l'interférence des rayons qui ont parcouru des chemins différant entre eux de $\frac{1}{2}d$, de $d+\frac{1}{2}d$, de $2d+\frac{1}{2}d$, etc.

Substituons maintenant des faisceaux blancs aux faisceaux homogènes que nous avons d'abord employés, et des bandes colorées de toutes les nuances prismatiques viendront se placer les unes à côté des autres; et la bande centrale, celle qui résulte de l'accord de tous les rayons ayant parcouru des chemins exactement égaux, se distinguera parfaitement des autres par l'absence de toute irisation. A gauche et à droite de celle-là, le nombre de bandes visibles sera de cinq à six.

On appelle, suivant leur rang, ces bandes situées à gauche ou à

CHAPITRE XVI

APPLICATION DE LA THÉORIE DES INTERFÉRENCES A L'EXPLICATION DE LA SCINTILLATION

Voyons ce qui résulte de la théorie des équivalents optiques, sur la manière dont les rayons provenant d'une étoile doivent interférer dans une lunette, ou, plus simplement, voyons ce qui arrive au foyer d'une lentille de verre, car une lunette n'est autre chose qu'une lentille pareille, armée d'un microscope simple ou à plusieurs verres pour étudier ce qui se passe à son foyer ; voyons, enfin, si les résultats de cet examen sont conformes à ceux que les observations des étoiles faites avec des lunettes nous ont dévoilés.

Le rayon central EO (fig. 2), venant d'une étoile située à une distance presque infinie, a parcouru, au moment où il a atteint le foyer F, un chemin EOF plus court que le rayon latéral et parallèle E'R, qui a traversé la lentille vers son bord pour se rendre aussi en F ; mais ce rayon central a rencontré une plus grande épaisseur de verre. Or cette plus grande épaisseur de verre fait la compensa-

droite de la bande centrale, les bandes du premier, du second, du troisième ordre, etc., etc.

Lorsque la différence des chemins parcourus par les faisceaux interférents est un peu grande, on ne voit aucune trace de bandes ; mais on peut ramener les choses à l'état normal, rendre les bandes de nouveau visibles, en interposant sur la route d'un des faisceaux un milieu d'une réfrangibilité et d'une épaisseur convenables. C'est dans la détermination de la réfrangibilité, la longueur du chemin étant donnée, et dans la détermination de la longueur, la réfrangibilité étant connue, que consiste la théorie des équivalents optiques.

tion exacte de la moindre longueur de chemin parcourue dans l'air.

La compensation est la même, quelle que soit la position relative des deux rayons que l'on compare ; si l'on prend, par exemple, le rayon central et le rayon E″T.

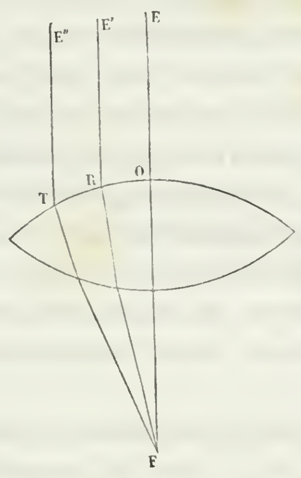


Fig. 2. — Passage de la lumière à travers une lentille.

Les rayons lumineux qui tombent sur la première surface d'une lentille, s'y réfractent, et, après une autre réfraction à la seconde surface, vont se réunir au foyer, y sont conséquemment d'accord et s'ajoutent entre eux. Il faut toutefois qu'ils aient satisfait à cette condition expresse, qu'à partir du point rayonnant et jusqu'à la rencontre de la première surface de la lentille, et qu'à partir de la seconde surface jusqu'au foyer, les rayons aient parcouru des milieux d'une égale réfringence. La moindre différence à cet égard peut changer complétement l'état relatif des rayons, comme lorsque nous opé-

rions sur deux tubes, et faire entrer dans une phase de destruction des rayons qui, sans cela, auraient été d'accord et se seraient ajoutés.

Supposons que les rayons qui tombent à gauche du centre de l'objectif aient rencontré, depuis les limites supérieures de l'atmosphère, des couches qui, à cause de leur densité, de leur température ou de leur état hygrométrique, étaient douées d'une réfringence différente de celle que possédaient les couches traversées par les rayons de droite; il pourra arriver qu'à raison de cette différence de réfringence, les rayons rouges de droite détruisent en totalité les rayons rouges de gauche, et que le foyer passe du blanc, son état normal, au vert; que l'instant d'après, par la même cause, les rayons verts soient totalement anéantis, et que le foyer, conséquemment, devienne rouge, etc.

Dans l'hypothèse d'une destruction complète des rayons rouges, verts, etc., la couleur complémentaire verte, rouge, etc., dont brille le foyer F, est très-vive. Mais, généralement, les rayons de la droite et de la gauche de l'objectif, au lieu de s'anéantir en totalité par leur interférence, ne se détruisent qu'en partie. Dans ce cas, on aura encore coloration du foyer, mais elle sera moins intense et elle dépendra des mêmes causes.

J'ai établi, par des expériences directes, qu'il suffit que la destruction par interférence des rayons rouges, verts, etc., porte sur le vingtième d'un faisceau, pour que le foyer F, où ce faisceau total se réunit, paraisse sensiblement coloré. Il doit donc suffire que les couches atmosphériques affectent convenablement et par intermit-

tence, à raison de leur inégalité de réfringence, un vingtième des rayons qu'embrasse la surface d'une lentille, pour que le point focal acquière successivement différentes nuances prismatiques. Or, si l'on songe à la grande longueur du trajet qu'a parcouru la lumière depuis les limites supérieures de l'atmosphère jusqu'à la lentille; à la très-petite différence comparative de réfringence qui suffit pour faire passer deux rayons de la période d'accord à celle de destruction; à l'effet des vents amenant sans cesse, quelque modérés qu'ils soient, des couches atmosphériques nouvelles en face de la lentille, on ne s'étonnera pas qu'en observant Sirius, étoile assez basse dans nos latitudes, on ait noté jusqu'à trente changements de couleur par seconde. Il faudra plutôt chercher comment, dans certains climats, le foyer de la lentille reste invariable en intensité et en couleur, si tant est que le fait soit réel.

Voilà donc le résultat théorique parfaitement d'accord avec les observations; voilà le phénomène de la scintillation dans une lunette rattaché d'une manière intime à la doctrine des interférences.

Que l'on veuille bien remarquer maintenant que l'œil peut être assimilé à une lentille ayant à son foyer un écran nerveux nommé *la rétine*, et l'on reconnaîtra que tout ce que nous avons dit de la grande lentille, partie principale de la lunette, est applicable à l'œil; il suffira, pour que l'image d'une étoile se colore en vert, par exemple, que dans le faisceau de lumière parallèle blanche qu'embrasse la surface de la pupille, un vingtième se trouve dans la condition de destruction des rayons rouges; l'image de l'étoile deviendra rouge, au contraire, lorsque

la destruction de lumière à la surface de la rétine portera sur les rayons verts, etc. Si enfin, par voie d'interférence, les rayons blancs arrivant à la pupille par la gauche deviennent rouges et les rayons de droite deviennent verts, ces deux couleurs se neutraliseront, et l'effet définitif sera un changement d'intensité.

Le faisceau dont la pupille permet la libre introduction dans l'œil est à la vérité très-étroit ; les rayons qui doivent se détruire sont presque contigus ; ils ont donc traversé des régions de l'atmosphère qui se touchaient : mais ces circonstances ne constitueront pas une difficulté si l'on se rappelle combien est long le trajet qu'ont fait les rayons dans l'atmosphère avant d'atteindre l'œil, et combien peut être légère la différence d'état individuel de ces couches, sous le rapport de la densité, de la température, de l'état hygrométrique, sans qu'en somme elles cessent d'être une fois favorables à la destruction de la lumière rouge, une autre fois à la destruction de la lumière verte, et ainsi de suite.

Je n'ai fait intervenir la différence de chemins parcourus par les rayons, ni dans l'explication de la scintillation à l'œil nu, ni dans l'explication de la scintillation qui s'opère au foyer d'une lunette. Ces différences, si elles ont lieu, devraient être prises en considération ; or il est évident que de très-légères inégalités de routes existent quelquefois.

En effet, les étoiles éprouvent souvent, dans les lunettes, un très-petit déplacement vertical que les astronomes appellent une ondulation, et qui dépend évidemment d'une augmentation ou d'une diminution accidentelle dans la

réfraction normale. Or, supposons qu'un rayon dont la réfraction a été troublée en plus dans un certain point de l'atmosphère éprouve plus tard, dans un autre point, une perturbation en moins qui compense la première perturbation; ce rayon ira au foyer de la lunette rencontrer un rayon normal, un rayon qui n'aura subi aucun trouble dans sa marche, qui n'aura pas éprouvé, si l'expression m'est permise, le mouvement d'anguille d'où peut résulter une différence de route propre à produire une interférence positive ou négative. La même chose peut être dite des rayons qui ont été déviés latéralement, déviation à l'aide de laquelle on explique comment l'image d'une étoile s'étale, s'épanouit parfois, subitement et pour de très-courts instants. Ce sont là des causes microscopiques, presque insaisissables, et qui cependant amènent des changements d'intensité et de couleur manifestes.

Dans le chapitre VII où j'ai décrit les phénomènes de la scintillation tels qu'ils se montrent dans une lunette, j'ai particulièrement insisté (page 14) sur les effets singuliers résultant d'une diminution convenable dans l'ouverture de l'objectif, et qui s'observent en enfonçant graduellement l'oculaire. J'ai fait remarquer, de plus, que, dans la succession de points lumineux et obscurs qu'on découvre ainsi graduellement dans le centre de l'image, les points obscurs doivent résulter de l'interférence des rayons directs avec d'autres rayons déviés latéralement par les bords de l'ouverture placée devant l'objectif; enfin on a vu que les points obscurs deviennent de temps en temps lumineux, et que les points lumineux, à leur tour, disparaissent de temps en temps.

Revenons un moment sur nos pas ; voyons en quoi consistent, au fond, les observations que nous avons faites à différentes distances du foyer d'une lunette, et quelles conclusions on doit en tirer.

Supposons que les rayons, à très-peu près parallèles entre eux, qui partant d'une étoile tombent sur les circonférences de cercles concentriques dont la surface de l'objectif d'une lunette est composée, soient réduits à des lignes sans dimension, comme l'avaient admis jusqu'ici tous les physiciens partisans du système de l'émission qui s'étaient occupés de la théorie des lunettes. Ces rayons forment, après leur réfraction, au sortir de cette lentille, des cônes concentriques dont les sommets coïncident au foyer. Dans ce foyer, tous les rayons se trouvent réunis et concordants ; à partir de ce point, ils sont d'autant plus écartés qu'on se rapproche davantage de l'objectif, où se trouvent les bases des cônes. Les sections circulaires faites par des plans parallèles à ces bases et de plus en plus éloignés du sommet commun, sembleront donc de moins en moins brillantes, mais avec cette circonstance essentielle, qu'il n'y a pas un point de ces sections qui ne reçoive un rayon, qui ne soit éclairé.

Ce résultat paraît démenti par les observations rapportées plus haut. En examinant avec l'oculaire, sorte de microscope, les sections circulaires faites dans les cônes lumineux, à diverses distances du foyer, nous avons trouvé une section où le centre était entièrement obscur ; une seconde section, plus voisine de l'objectif, où le centre était lumineux ; une troisième section à centre obscur, et ainsi de suite.

Comment concilier des observations aussi nettes, aussi catégoriques, et desquelles il résulte que l'axe des cônes, à différentes distances du foyer, est successivement obscur et lumineux, avec les lois géométriques du mouvement des rayons, qui nous présentent cet axe lumineux partout? Il n'y a dans le système de l'émission qu'un moyen pour cela : c'est de supposer que des rayons déviés par les bords de l'ouverture placée devant l'objectif, ou des rayons de toute autre origine, vont croiser les premiers et les détruire en quelques points. Il faut de plus que ces destructions en un point donné n'empêchent pas les rayons de renaître au delà! Cette double conséquence peut paraître étrange, mais c'est l'expression logique et nécessaire des faits. Elle sera d'ailleurs justifiée plus loin.

CHAPITRE XVII

SCINTILLATION DES PLANÈTES

Supposons qu'on regarde avec une lunette à ouverture réduite les planètes Jupiter et Saturne qui ne scintillent évidemment pas ou ne scintillent qu'exceptionnellement; ces planètes ne présenteront aucun des effets que nous avons décrits quand il s'agissait des étoiles. En transformant la planète en rubans lumineux, comme dans l'expérience de Nicholson, on ne voit de couleur dans aucun point. Le déplacement du foyer ne donne jamais naissance à ces images percées de trous obscurs que nous avons décrites précédemment en détail. Quand la planète a, comme Mars, un petit diamètre, on voit quelques traces de ces phé-

nomènes d'interférence, mais sans une netteté suffisante.

Une planète est une agglomération de points lumineux; les rayons partant de chacun de ces points semblent devoir éprouver des effets analogues à ceux que nous avons décrits en nous occupant des étoiles. Il faut cependant remarquer que lorsqu'il s'agissait d'un de ces derniers astres vu à l'œil nu, des rayons parallèles interférents provenant de l'étoile n'étaient séparés au maximum, dans leur trajet à travers l'atmosphère, que d'une quantité égale au diamètre de la pupille, et que, dans le cas d'une observation faite avec une lunette, ce maximum de distance des rayons interférents était égal au diamètre de la portion libre de l'objectif.

Les rayons qui concourent à la formation de chacun des points de l'image d'une planète, soit à l'œil nu, soit dans une lunette, sont précisément dans le même cas; mais il y a une différence essentielle quand on compare ensemble les rayons qui ont formé l'image d'un de ces points à ceux qui ont produit l'image d'un autre point.

Considérons, par exemple, le faisceau de rayons parallèles qui a concouru à la formation de l'une des extrémités du diamètre horizontal de Jupiter. Si ce diamètre est de 40 secondes, le faisceau de rayons parallèles qui produira l'image de l'autre extrémité du diamètre fera avec le premier un angle de 40 secondes. Ce dernier n'a donc pas traversé exactement les mêmes couches atmosphériques que le premier dans une grande partie de son trajet. On en pourrait dire tout autant des faisceaux qui ont formé les deux extrémités du diamètre vertical,

et, sauf la quantité, de ceux qui se réunissent dans tous les points de l'image.

L'agglomération d'étoiles à laquelle nous avons assimilé le disque de la planète n'est exacte qu'à la condition de supposer que les rayons de ces différentes étoiles n'ont pas traversé des couches atmosphériques presque contiguës.

Les scintillations, déjà si diverses dans le cas de la contiguïté, doivent être plus dissemblables encore dans le cas que nous considérons; de leur ensemble doivent résulter du blanc et une intensité à peu près constante.

Encore un mot pour rendre, s'il est possible, cette explication plus claire.

L'expérience de Nicholson nous a montré qu'à chaque instant l'intensité de la couleur d'une étoile est, à cause de la durée de la sensation dans l'œil, la résultante de l'intensité et de la coloration que l'étoile a reçues par l'effet des interférences pendant un dixième de seconde. Si l'on parvenait à réunir les images de deux étoiles occupant dans le ciel des positions différentes, la résultante varierait moins que sur chaque étoile prise isolément; il en serait de même à chaque addition d'une nouvelle étoile. Enfin, lorsque le nombre de ces étoiles dont l'agglomération se composerait dépasserait une certaine limite, l'image paraîtrait blanche et d'un éclat uniforme.

Or, qu'est-ce qu'une planète vue à l'œil nu, si ce n'est une pareille agglomération d'étoiles? Il semble seulement que sur les bords du disque, vu avec une lunette, chaque point devrait offrir des traces manifestes d'interférence;

or c'est ce qui a lieu en effet. Les ondulations que présentent les planètes sur leur contour, et qu'on a l'habitude d'attribuer exclusivement à des inégalités de réfraction, dépendent, en partie, des interférences de la lumière.

CHAPITRE XVIII

SCINTILLOMÈTRES

Les destructions intermittentes de la lumière dans un point déterminé de l'axe d'une lunette se rattachent d'une manière intime à la cause de la scintillation, et peuvent même servir à sa mesure.

Nous n'avions d'abord cité ces changements qu'en point de fait.

Nous pouvons maintenant faire un pas de plus, nous pouvons les rattacher, avec une très-grande probabilité, à de légères inégalités intermittentes de réfrangibilité dans les milieux traversés par les rayons interférents, ou à de très-petites différences des routes parcourues et perpétuellement changeantes de ces mêmes rayons, c'est-à-dire aux vraies causes de la scintillation. Les changements des points obscurs en points lumineux, et des points lumineux en points obscurs, peuvent, je crois, servir, avec les précautions convenables, à donner la mesure du phénomène, à servir de base à la construction d'un *scintillomètre*.

§ 1. — Premier scintillomètre.

Supposons que l'on vise à une étoile, ou à un objet qui ne scintille pas, avec une lunette achromatique de 1m.70 de distance focale, dont l'objectif, de 91 millimètres par exemple, ait été réduit à 47 millimètres, à l'aide d'une plaque percée d'une ouverture. Nous avons déjà dit (page 15) que la forme qu'affectera l'image de cette étoile sera variable et dépendra de la position de l'oculaire. Partons de celle où l'étoile offre un disque planétaire entouré d'une série d'anneaux très-étroits d'une lumière vacillante. On est alors au foyer. Si, à partir de cette première position, on approche graduellement l'oculaire de l'objectif, on trouve une deuxième position, dans laquelle le centre de l'image sera noir. Dans une troisième position, qui succédera à la précédente, le centre de l'image sera lumineux. Le mouvement continué dans le même sens conduira à une quatrième image avec un centre obscur, et ainsi de suite.

Pour déterminer la deuxième position, celle dans laquelle l'image de l'étoile est percée d'un trou entièrement noir, on peut, au lieu de l'observation directe, fixer l'oculaire au milieu de l'intervalle qu'il occupait pour la première et la troisième forme de l'astre.

Supposons que l'oculaire occupe exactement cette position intermédiaire et qu'on vise à une étoile scintillante.

La scintillation se manifestera par des réapparitions accidentelles du point lumineux. Ces réapparitions auront lieu, dans un temps donné, d'autant plus fréquemment

que la scintillation sera plus forte. Je vais rapporter ici des observations de ce genre faites à ma prière par MM. Goujon et Ch. Mathieu.

Noms des étoiles.	Hauteur au-dessus de l'horizon.	Nombre des apparitions en 5 minutes.
14 *janvier* 1851.		
Sirius..........	20°	40
Rigel...........	31	17
Aldebaran......	57	13
La Chèvre.......	81	8
15 *janvier* 1851.		
Sirius..........	24°	23
Procyon........	46	14
Régulus.........	54	15
g Petit Lion.....	74	6
22 *janvier* 1851.		
Sirius..........	24°	28
Procyon........	46	20
α Orion.........	48	15
Pollux..........	69	12
22 *mars* 1851.		
Sirius..........	18°	30
Procyon........	40	20
Pollux..........	65	9
Wéga...........	74	6
La Chèvre.......	78	5
16 *octobre* 1851.		
Fomalhaut..........	10° 50′	30
	8 0	31
	5 40	35

Noms des étoiles.	Hauteur au-dessus de l'horizon.	Nombre des apparitions en 5 minutes.
17 octobre 1851.		
Rigel	21° 0′	25
	28 30	22
	35 0	20
α Orion	24 30	21
	32 30	20
	44 45	18
Aldebaran	44 0	18
	50 30	16
	55 30	15
1er novembre 1851.		
Sirius	8°39′	30
	12 48	28
	17 30	26

Répétons que ces nombres ont été obtenus en comptant les réapparitions du point central pendant un intervalle de temps de 5 minutes.

J'avais conclu de considérations théoriques que si, au lieu de laisser l'oculaire dans la position où ont été faites les observations précédentes, on l'avait placé entre cette position et la troisième, les réapparitions du point lumineux devraient être plus fréquentes pour une scintillation de même intensité.

Ces prévisions ont été complétement confirmées, ainsi qu'on va le voir.

Noms des étoiles et hauteurs au-dessus de l'horizon.		Première position de l'oculaire.	Deuxième position de l'oculaire.
	13 *mars* 1851.		
Sirius....	21° 0′	18	40
Procyon .	47 0	12	20
Arcturus.	50 0	12	20
Pollux...	69 0	7	15
	15 *mars* 1851.		
Sirius....	17° 0′	16	30
Procyon .	40 0	12	20
Pollux...	58 0	6	12
	1er *novembre* 1851.		
Sirius....	9° 5′	〃	45
	13 5	〃	37
	17 53	〃	33

En suivant de l'œil tous ces résultats numériques, il me paraît impossible qu'on ne voie pas, en dehors de toute considération théorique, qu'il existe une dépendance immédiate entre les réapparitions du point lumineux et la scintillation, et que ces réapparitions peuvent être, jusqu'à un certain point, la mesure du phénomène.

Sous ce rapport, la lunette modifiée comme nous l'avons expliqué devait prendre le nom de scintillomètre. Avec cet instrument, on pourra décider quels sont les climats, les saisons, les hauteurs, les circonstances atmosphériques où la scintillation disparaît totalement, si tant est qu'on ne se soit pas fait illusion à cet égard.

§ 2. — Deuxième scintillomètre.

On pourrait former aussi un scintillomètre en développant une étoile en ruban suivant la méthode de Nicholson. On a vu (page 12) que ce physicien faisait décrire à l'étoile une courbe rentrante dans l'intervalle d'un dixième de seconde ; il distribuait ainsi sur le contour de cette courbe les images successives et de couleur différente qui se formaient en un point unique et se compensaient, quant à la couleur, dans l'intervalle d'un dixième de seconde. Mais il paraît bien difficile de dénombrer exactement les couleurs ainsi distribuées dans une courbe qui, à l'œil, occupe un grand espace.

Il vaudrait mieux, pour rendre le dénombrement possible, faire parcourir à l'étoile une partie seulement de la courbe qu'elle paraissait décrire dans la première expérience, le dixième par exemple.

Supposons qu'à partir d'une position de la lunette, on la déplace en un vingtième de seconde, de manière que dans ce court espace de temps l'étoile semble décrire dans le champ une ligne droite qui occupe 2 minutes. Cet espace angulaire renfermera les images diversement colorées qui auraient pris naissance dans un vingtième de seconde et se seraient superposées si la lunette était restée immobile.

On peut compter le nombre de ces images de couleurs diverses, répéter l'expérience dix fois par exemple, et prendre la moyenne ; on aurait ainsi la vraie mesure de la scintillation. C'est aux artistes à choisir le meilleur

moyen d'assurer le mouvement angulaire de la lunette ou de l'oculaire qui produirait un allongement de l'étoile égal à 2 minutes, et de s'assurer du temps (un vingtième de seconde) pendant lequel le mouvement s'opérerait.

S'il m'était permis d'émettre une opinion à ce sujet, je proposerais de placer un peu en avant du foyer de la lunette, c'est-à-dire entre l'objectif et le foyer, un petit miroir plan incliné de 45 degrés, et qui rejetterait l'image de l'étoile latéralement sur un oculaire préparé *ad hoc*. C'est la disposition à laquelle on a recours toutes les fois qu'on veut observer avec de petits instruments des étoiles situées près du zénith.

Un mouvement de rotation imprimé à ce miroir à l'aide de quelque rouage d'horlogerie conduirait au but. Au lieu d'un miroir on pourrait se servir d'un prisme rectangulaire de verre, sur l'hypoténuse duquel s'opérerait la réflexion totale.

Afin que l'observation portât toujours sur la même étendue de l'image allongée de l'étoile, on bornerait l'étendue du champ à 2 minutes avec deux plaques métalliques placées convenablement par rapport à l'oculaire.

§ 3. — Troisième scintillomètre.

Une troisième manière de mesurer la scintillation consisterait à observer l'image dilatée d'une étoile lorsque l'objectif n'est pas réduit, lorsqu'il conserve toute son ouverture, et à noter le nombre de fois que cette image

est pour ainsi dire parcourue par des images colorées qui paraissent se mouvoir sur l'image dilatée dans un sens ou dans l'autre.

J'ai donné précédemment (chap. VII, p. 9 et 11), à l'occasion des observations de Simon Marius et de Nicholson, une description détaillée de ce phénomène. On peut, je crois, l'expliquer de cette manière :

Lorsque toute la lumière tombée sur l'objectif est réunie au foyer, les interférences des rayons provenant du bord oriental, du bord occidental, du bord supérieur, du bord inférieur, etc., de la lunette, sont nécessairement confondues. Si l'image, au contraire, est observée hors du foyer, en d'autres termes, si elle est dilatée, les interférences des rayons provenant des divers points de l'objectif pourront être observées séparément; et, comme les couches atmosphériques dont la densité, l'humidité, la température, déterminent la nature des interférences, ne restent pas immobiles, on doit voir les couleurs qui sont nées sur un des bords par exemple, se propager sur toute l'étendue de l'image dilatée dans un temps égal à celui que les couches atmosphériques en question ont mis à se déplacer d'une quantité équivalente au diamètre de l'objectif de la lunette.

Telle est en substance l'explication que je pense pouvoir donner des phénomènes observés.

Quoi qu'il en soit de ce troisième scintillomètre, je dois engager de nouveau les voyageurs à recourir à l'un quelconque de ces trois moyens, surtout au premier, pour décider définitivement s'il existe des pays dans lesquels les étoiles ne scintillent pas du tout.

CHAPITRE XIX

EXAMEN DES EXPLICATIONS QUI AVAIENT ÉTÉ DONNÉES JUSQU'ICI DU PHÉNOMÈNE DE LA SCINTILLATION

Quand on cherche l'explication de phénomènes du monde physique, de phénomènes dont il serait possible qu'on pût rendre un compte satisfaisant de plusieurs manières différentes, avoir exposé sa propre théorie ne suffit pas ; il faut de plus montrer l'insuffisance des explications qui l'avaient précédée. Tel est le but de ce chapitre. Je dois dire, une fois pour toutes, à la décharge de plusieurs auteurs dont j'ai réfuté les théories, que j'ai tiré mes objections d'observations récentes qui ne leur étaient pas, qui ne pouvaient pas leur être connues.

§ 1. — Explication d'Aristote.

Géminus a donné, dans l'extrait suivant du second livre d'Aristote sur le ciel, les idées de ce philosophe au sujet de la scintillation. J'emprunte la traduction de Halma :

« La vue, en s'étendant fort loin, vacille par suite de sa faiblesse : c'est la cause de la scintillation apparente des étoiles fixes et de ce que les planètes ne scintillent pas ; car les planètes sont proches de nous. Le tremblement de notre vue fait paraître les étoiles en mouvement ; l'effet est le même, soit que la vue soit en agitation, ou que ce soit l'objet aperçu qui s'agite. »

Le passage précédent serait tout à fait inintelligible

si nous ne rappelions ici qu'une certaine école de l'antiquité croyait que nous voyons par des rayons, par des sortes de tentacules partant de nos yeux et allant embrasser les objets. Dans cette hypothèse, disait-on, la vue est d'autant plus ferme, que les objets sont plus près. Les rayons, les tentacules flexibles qui se saisissent facilement d'une planète, doivent trembler lorsqu'ils se prolongent jusqu'aux étoiles.

Une pareille théorie n'a pas besoin d'être réfutée. On ne la cite même ici que pour montrer jusqu'où a pu aller l'égarement des hommes du plus grand génie, lorsqu'ils n'ont pas pris l'expérience pour guide ; on ne la rappelle que pour servir à l'histoire de l'esprit humain.

§ 2. — Ptolémée.

Ptolémée, d'après ce que rapporte Roger Bacon, s'était occupé de la scintillation dans sa *Perspective*, dont je crois qu'il ne nous est arrivé que des fragments ; mais il n'avait pris la question que par un très-petit côté. Ptolémée voulait seulement expliquer pourquoi les étoiles scintillent davantage à l'horizon : c'est, disait-il, parce qu'elles paraissent plus éloignées ; parce que l'œil fait de plus grands efforts pour les voir ; parce que de là résulte une trépidation de l'organe, et dès lors le tremblement des objets.

Admettons, ainsi que le veut l'auteur de l'*Almageste*, que, les étoiles situées près de l'horizon paraissant plus éloignées, l'œil doive faire un plus grand effort pour les voir ; nous n'en aurons pas moins le droit de demander

comment ce plus grand effort amènera un changement d'intensité, et surtout un changement de couleur. Le mot *trépidation* dont se sert l'auteur, n'ajoute rien à la valeur de son explication, puisqu'il ne dit pas en quoi cette trépidation consiste. J'ai montré d'ailleurs surabondamment que ce n'est pas un tremblement qui constitue réellement la scintillation.

§ 3. — Averrhoès.

Averrhoès dit, dans son livre *Du Ciel et du Monde*, que la densité des milieux traversés par les rayons lumineux contribue à la scintillation des astres dont ils émanent; que ces milieux étant animés d'un mouvement continuel, font tomber les images en divers points de l'œil; que l'effort fait pour voir un objet très-éloigné met l'œil dans une position forcée et tremblante; qu'enfin, la vision intermittente résultant de la fermeture et de l'ouverture successives des paupières est aussi une des causes de la scintillation.

Cette analyse de l'explication d'Averrhoès, que j'emprunte à Roger Bacon, est sujette à des difficultés insurmontables. Je ne parle pas de la position forcée et tremblante de l'œil : on a vu, dans le paragraphe consacré à l'examen de l'explication de Ptolémée, ce qu'il faut en penser; mais je m'élève contre l'idée que les ondulations de l'air contribuent à la scintillation en faisant tomber les rayons sur divers points de l'œil, car si ces points étaient très-voisins, le déplacement ne serait pas visible, et s'ils étaient éloignés, l'étoile oscillerait énormément

dans une lunette, ou s'y montrerait sous la forme d'une ligne lumineuse. La fermeture et l'ouverture successives des paupières doivent être également écartées, comme étant sans effet dans les lunettes, où la scintillation s'observe cependant, et comme devant produire une égale scintillation à toutes les hauteurs et dans tous les climats, ce qui est contraire aux observations. Averrhoès, d'ailleurs, ne mentionne pas les couleurs, partie si essentielle du phénomène.

§ 4. — Alhazen et Vitellion.

Alhazen et son commentateur Vitellion regardaient la scintillation comme un effet de la réfraction que les rayons des étoiles éprouvent dans l'atmosphère. Cette réfraction n'étant pas toujours la même, les étoiles doivent, disaient-ils, paraître en mouvement.

La preuve qu'aux yeux de ces deux observateurs la scintillation était un mouvement, se trouve dans le passage où Vitellion assure que la scintillation est énorme quand on observe l'image d'une étoile réfléchie sur une nappe d'eau un peu agitée.

Un mouvement visible à l'œil nu deviendrait très-considérable dans une lunette ; or les étoiles scintillent quelquefois beaucoup sans osciller d'une manière sensible. Cette seule remarque suffit pour montrer le peu de fondement d'une explication dans laquelle d'ailleurs on n'essaie même pas de rendre compte des couleurs.

Vitellion, imbu des idées d'Aristote, ne manquait pas de ranger l'incertitude de la vue, à la distance des

étoiles, au nombre des causes qui favorisaient la scintillation; il rappelait aussi que, suivant la philosophie péripatéticienne, il existe sous le ciel une région ignée où tout est dans une agitation perpétuelle, en sorte que les rayons lumineux qui traversent cette région, les rayons des étoiles, doivent être déviés et éparpillés, tandis que les planètes, situées entre ce ciel igné et la Terre, ne peuvent manquer de briller d'une lumière pure et tranquille.

Je croirais faire injure à mes lecteurs si je m'arrêtais à réfuter en détail les deux causes de la scintillation ajoutées par Vitellion à celles d'Alhazen : l'incertitude de la vue produite par la distance, et ce ciel igné situé entre la région des étoiles et celle des planètes.

§ 5. — Aguilonius et Aversa.

Franciscus Aguilonius attribue la scintillation à un mouvement de rotation très-rapide dans les astres où elle se manifeste; en vertu de ce mouvement, les étoiles nous présenteraient alternativement des parties brillantes et des parties obscures.

Raphaël Aversa approuve l'explication; seulement, pour rendre compte de l'existence des parties brillantes et des parties obscures des étoiles, il suppose qu'une portion de la lumière de ces astres naît dans leur intérieur et traverse divers obstacles avant d'atteindre leur surface. (*Almageste* de Riccioli.)

On peut opposer à l'explication d'Aguilonius et d'Aversa, comme à toutes celles qui font du phénomène une réalité et non une apparence, que les étoiles scintilleraient éga-

lement à toutes les hauteurs au-dessus de l'horizon, ce qui est démenti par l'expérience.

§ 6. — Tycho.

Tycho, observateur très-habile, très-exact et très-ingénieux, n'a pas été, en général, heureux quand il a essayé de remonter à la cause des phénomènes. Ses conceptions sur la scintillation ne supportent pas plus l'examen que les idées dont je viens de donner l'analyse, et que la plupart de celles que je dois encore mentionner.

Tycho donne pour cause principale de l'agitation de la lumière des étoiles, le mouvement de rotation dont ces astres sont animés, et qui ne saurait manquer d'amener la dispersion de leurs rayons. Les étoiles auraient, de plus, une grande quantité de facettes qui se montreraient tour à tour à nos yeux. La scintillation serait ainsi analogue à celle qu'on observe sur les facettes d'un diamant. Les planètes, ajoute-t-il, ne scintillent pas, parce qu'elles ne tournent pas!

Que veut dire Tycho lorsqu'il présente le mouvement de rotation d'un astre comme cause de la dispersion de sa lumière? La dispersion dont il parle est-elle un effet de la force centrifuge, analogue à ce que présentent les soleils rotatifs des feux d'artifice? Sans examiner ce qu'une telle assimilation aurait d'inexact, je me contenterai de faire remarquer qu'une cause, quelle qu'elle soit, agissant perpétuellement et d'une manière continue, ne pourrait donner lieu à un phénomène intermittent et irrégulier. Tycho voulant expliquer par l'absence de

mouvements de rotation pourquoi les planètes ne scintillent pas, avait apparemment oublié qu'il résultait de ses propres observations que quelquefois Mercure et Vénus scintillent fortement.

§ 7. — Cardan.

Cardan admit l'opinion d'Aristote sur la scintillation. « La vue prolongée au loin, dit-il, oscille à cause de sa faiblesse. Les planètes sont rapprochées de nous, aussi notre vue les atteint avec toute sa vigueur; mais elle tremble vers les étoiles à cause de leur distance. Or ce tremblement de la vue les fait paraître en mouvement, car il importe peu que ce soit la vue qui oscille ou que ce soit l'objet qu'on regarde. » (Riccioli.)

Nous n'avons pas pensé devoir nous arrêter à réfuter l'opinion d'Aristote. Cardan n'y a rien ajouté. Il s'est même servi, à très-peu près, des propres termes de Géminus; nous pouvons donc passer outre.

§ 8. — Scaliger.

Scaliger attribuait la scintillation à cinq causes différentes : 1° à la grandeur de l'astre; 2° à sa clarté; 3° à son mouvement; 4° à l'air traversé par les rayons; 5° au mouvement de la lumière dans l'astre observé.

Faire spéculativement l'énumération de toutes ces causes, vraies ou imaginaires, était chose facile; indiquer la part de chacune d'elles dans la production de la scintillation ne l'était pas autant; aussi Scaliger n'a-t-il point

réussi. La première et la deuxième cause ne sont pas justifiées. La troisième se trouve déjà dans l'explication d'Aguilonius, et nous l'avons réfutée. Quant à la cinquième, en supposant qu'il fût établi, comme le veut Scaliger, « qu'il existe dans les corps incandescents une faculté de production intermittente de lumière, analogue à ce qui s'observe dans la déflagration de nos flammes » ; en admettant qu'il n'y eût rien de forcé et d'irrégulier dans l'assimilation d'une flamme de chandelle à des étoiles dont le volume surpasse celui du Soleil, il y aurait toujours à se demander en quoi l'hypothèse, appuyée de la double concession que nous avons faite, contribuerait à expliquer logiquement un phénomène qui varie d'intensité avec la hauteur des astres au-dessus de l'horizon.

En venant, enfin, à l'influence de l'atmosphère, nous trouverons, quoi qu'en ait pu penser Kepler, que Scaliger donnait de la scintillation, réduite à un simple changement d'intensité, l'explication la plus simple, la plus vraisemblable à laquelle on pût s'arrêter à son époque, lorsqu'il disait : Les vapeurs légères, flottantes dans l'air, arrêtent partiellement et laissent passer successivement, dans tout leur éclat, les rayons des étoiles, d'où il doit résulter des changements d'intensité continuels.

§ 9. — Jordano Bruno.

Suivant Jordano Bruno, la scintillation appartient aux étoiles mêmes, lesquelles, d'après le sentiment de Platon, tournent autour de leur propre centre, et dont les images doivent, par conséquent, sautiller (Riccioli).

Le *par conséquent* que ce passage renferme est curieux. Il montre de quelles explications on se contentait dans le XVIe siècle ; il ne devait être rappelé qu'à ce titre.

§ 10. — Galilée.

« J'estime que nous philosopherons convenablement en attribuant la scintillation des étoiles à la vibration qu'elles impriment à leur lumière propre, c'est-à-dire à une lumière qui naît dans leur substance intime. » (Galilée, tome V, page 17.)

Si je comprends bien ce passage, la scintillation tiendrait à une variation réelle et intermittente dans l'émission de la lumière des étoiles; mais alors, comment expliquer la diminution constante que la scintillation éprouve avec la hauteur des astres au-dessus de l'horizon, et l'absence presque totale de scintillation dans certains climats? Il suffit de cette remarque pour renverser l'hypothèse de fond en comble.

§ 11. — Kepler.

Voici comment Kepler (*Stella nova*) termine son article sur la scintillation de la nouvelle étoile de 1604 :

« La nouvelle étoile a surpassé toutes les autres en clarté, en pureté, en grandeur. Elle a été vue au couchant, près de l'horizon, par un air très-humide; néanmoins tout cela aurait été sans effet, si le corps de cet astre n'eût fourni à sa lumière la cause de ses scintillations et de ses couleurs; or cette cause est le mouvement

très-accéléré de ce corps lui-même ou une faculté interne. »

Ailleurs (*Astronomiæ pars optica*), Kepler attribue la scintillation « ou à une altération intérieure qu'on pourrait appeler un paroxysme, ou à la révolution extérieure d'un corps opaque. »

Dans plusieurs passages, il compare les étoiles à des diamants taillés à facettes, dans lesquels le moindre mouvement fait naître les couleurs de l'arc-en-ciel. Il imagine que les astres peuvent avoir des parties anguleuses, des régions inégalement lumineuses, et explique ainsi comment il n'est pas nécessaire qu'elles fassent une révolution totale à chaque scintillation. En analysant l'explication de Scaliger, Kepler range l'action de l'air au nombre des causes secondaires et sans importance du phénomène.

Tout cela, avouons-le franchement, semble peu digne du génie de Kepler.

Nous avons déjà fait voir, en rappelant l'explication de Galilée, que l'hypothèse de changements réels, de paroxysmes dans l'émission de la lumière des étoiles, ne pouvait pas servir à rendre compte des phénomènes de la scintillation les plus simples, les plus élémentaires ; la même chose peut être dite de l'hypothèse que Kepler ajoute à celle de son contemporain : « Le mouvement de révolution d'un corps opaque extérieur » devrait produire le même effet à toutes les hauteurs des astres et dans tous les pays, ce qui est contraire aux observations.

La cause des couleurs reste dans une complète obscurité, malgré la comparaison empruntée à un diamant à facettes; car il y a loin de la formation d'images pris-

matiques par voie de réflexion, aux phénomènes que présenterait une lumière propre aux corps, en s'échappant par des surfaces inclinées.

§ 12. — Scheiner.

Scheiner croit que la scintillation des étoiles a pour cause unique l'absence momentanée, intermittente, de la formation des images des astres au fond de l'œil, provenant de l'interposition de vapeurs de diverses sortes.

Cette explication rentre dans la quatrième cause du phénomène indiquée par Scaliger. Nous n'avons donc pas besoin de nous y arrêter davantage.

§ 13. — Descartes.

D'après Descartes, les tourbillons dont tous les corps célestes sont entourés, étant composés d'une matière fluide, tremblent et ondoient à leur surface. Dès lors, les étoiles qu'on voit à travers doivent paraître étincelantes et comme tremblantes; il pense même qu'il doit en résulter un agrandissement; ainsi, dit-il, qu'on le remarque dans l'image de la Lune réfléchie à la surface d'un lac crispée par le souffle de quelque vent (tome IV, page 323, édition de Paris).

Admettons que les tourbillons fluides et ondoyants existent; admettons que la scintillation consiste dans un tremblement de l'image des astres, l'explication de Descartes n'en portera pas moins à faux. Pour le prouver, il me suffira de citer de nouveau une remarque dont j'ai

déjà fait un fréquent usage pour réfuter les théories des prédécesseurs de notre illustre compatriote. Les tourbillons produiraient nécessairement le même effet, quelle que fût la hauteur des étoiles au-dessus de l'horizon : or cela est démenti par l'observation; il n'est donc pas besoin de s'arrêter davantage sur le phénomène que Descartes appelle le *tremblement de l'image.*

§ 14. — Huygens.

Suivant Huygens, « la scintillation des étoiles est le résultat d'une agitation tremblante des vapeurs qui environnent notre Terre (*Cosmotheoros*). »

Comment un homme du génie de Huygens s'est-il persuadé qu'une phrase si vague pourrait être prise pour l'explication plausible d'un phénomène aussi compliqué que celui de la scintillation? Cela doit d'autant plus étonner que Huygens était à la fois géomètre et observateur.

§ 15. — Gassendi.

Gassendi définit la scintillation, des éclairs, des fulgurations. Elle lui paraît provenir uniquement de ce que les étoiles brillent d'une lumière propre, comme le Soleil; de la pureté de leur éclat qui nous parvient exempt de tout mélange, en sorte que l'œil en reçoit une vive sensation qui le met en mouvement, en vibration.

D'où vient alors que Mercure scintille, que la lumière solaire réfléchie par une boule scintille, que les étoiles,

affaiblies par les vapeurs voisines de l'horizon scintillent plus que les étoiles élevées, que quelquefois elles ne scintillent pas?

Indépendamment de ces objections, Gassendi ne s'aperçut pas qu'il substituait à une difficulté une difficulté non moins abstruse : qu'on pouvait lui demander quelle différence physique existait entre une lumière propre peu intense et une lumière empruntée très-vive, pour que l'une scintillât et l'autre ne scintillât pas, pour que l'une mît l'œil en vibration et l'autre fût sans effet. Gassendi était certainement un esprit d'élite, mais il subissait l'influence de son siècle. Quand on voulait tout expliquer avant le temps, il fallait bien se payer de mots.

§ 16. — Riccioli.

Riccioli pense que la scintillation ne provient « pas seulement des vapeurs et des mouvements de notre atmosphère, mais encore des poussières et des filaments opaques qui voltigent perpétuellement dans l'air. »

C'est, ce me semble, rapetisser le phénomène, que de le réduire à un effet de poussières ou de filaments opaques voltigeant dans l'air. Est-ce qu'il n'y a point de scintillation en pleine mer, au sommet des plus hautes montagnes? Est-ce qu'il n'y a pas de poussières dans les plaines de l'Arabie où les étoiles ne scintillent pas? Je reviendrai plus loin sur cette explication, qui a été reproduite par des observateurs modernes.

§ 17. — Hooke.

L'auteur de la *Micrographie* publiée en 1667 avait fixé à une minute de degré la force de la vision ; il résultait de ses expériences qu'un objet circulaire ou carré d'une intensité modérée, est invisible lorsqu'il sous-tend un angle au-dessous d'une minute : ne semble-t-il pas découler de là qu'un mouvement angulaire de moins d'une minute dans une étoile ne doit pas être perceptible à l'œil nu ?

Comment concilier ce résultat avec la théorie que Hooke adopte pour expliquer la scintillation? Suivant lui, ce phénomène dépend des réfractions irrégulières subies par les rayons qui traversent notre atmosphère. Les étoiles vues dans les lunettes quand elles scintillent éprouveraient donc des déplacements d'une minute, c'est-à-dire des déplacements supérieurs au diamètre du disque de Jupiter : ce qui est démenti par les observations. En effet, j'ai fait tailler une mince plaque de verre de manière qu'elle déviait les objets d'environ une minute de degré. Lorsque ce rudiment de prisme était placé devant la pupille, chaque objet devait donc paraître à une minute de sa position réelle. En visant à une étoile et faisant passer le prisme devant la pupille à de courts intervalles, tous les cinquièmes de seconde de temps par exemple, on devait voir l'image de cet astre à la distance d'une minute de son image réelle. MM. Laugier et Goujon, à qui j'avais confié cette expérience, n'ont rien vu de pareil. Comme il était possible qu'un déplacement d'une minute, invisible à l'œil nu, devînt sensible par un autre genre

de phénomènes, j'ai prié mes jeunes amis d'examiner si le mouvement rapide du prisme devant la pupille ferait naître la scintillation sur une étoile élevée. L'expérience, faite avec le plus grand soin sur α de la Lyre, a conduit à un résultat négatif.

Hooke concevait, en outre, que les irrégularités dans la distribution de la chaleur peuvent donner à une portion limitée de l'atmosphère, comparée aux parties voisines, la forme d'une lentille convexe ou d'une lentille concave. Dans le premier cas, dit-il, l'image d'une étoile devrait paraître dilatée; le contraire arriverait dans le second.

Je ne m'arrêterai pas à examiner, par un calcul minutieux, si des couches atmosphériques chaudes ou froides, ayant la forme de lentilles et distinctes des couches environnantes par une moindre ou une plus grande température, seraient susceptibles d'engendrer les effets très-sensibles annoncés par Hooke; je me contenterai de dire en point de fait qu'une lentille convexe ou concave, placée à une distance quelconque devant l'objectif d'une lunette, devrait raccourcir ou augmenter la distance focale, en sorte que, pendant la scintillation, il y aurait des changements continuels de foyer. J'ajoute que ces agrandissements dont parle l'auteur devraient se produire ou partiellement ou en totalité sur le disque des planètes, ce qu'aucun astronome n'a jamais observé.

Pour expliquer les couleurs, Hooke rappelle que les images des objets produites par une lentille ordinaire paraissent toujours colorées lorsqu'elles se forment près des bords du champ. Mais, pour réfuter cette idée ingé-

nieuse, il me suffira de répéter ici que les mêmes effets de coloration devraient inévitablement s'apercevoir sur les bords des disques des planètes lorsque la lentille aérienne viendrait se placer devant l'objectif d'une lunette achromatique, et personne n'a remarqué de pareils phénomènes.

Quelles seraient d'ailleurs, dans l'hypothèse de Hooke, les causes des apparitions successives des points lumineux dans les centres obscurs des images dilatées des étoiles?

L'explication fondée sur le phénomène des interférences a pour caractère essentiel de rendre compte des changements d'intensité et des changements de couleur sans avoir besoin d'admettre des variations sensibles dans la réfraction atmosphérique éprouvée par les rayons qui parviennent à l'ouverture de la pupille ou à celle de l'objectif de la lunette avec laquelle on fait l'observation.

§ 18. — Newton.

Lorsqu'on est amené, sur quelque sujet que ce puisse être, à s'écarter d'une opinion professée ou admise par Newton, le respect dû à un si grand nom veut qu'on cite textuellement les passages objets de la critique. En pareil cas, les analyses ne suffisent pas.

Newton s'est occupé de la scintillation dans le troisième livre de ses *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle* et à la fin de la première partie du livre premier de son *Optique*. Voici le passage de la *Philosophie naturelle*:

« La radiation et la scintillation des fixes doit être attribuée aux réfractions des humeurs de nos yeux et à celles de l'air, qui a toujours un petit mouvement de trémulation, ce qui se prouve, parce que cette trémulation cesse lorsqu'on regarde les étoiles à travers un télescope; car la trémulation de l'air et des vapeurs qui y sont contenues est cause que les rayons sont détournés facilement et par secousses de la prunelle, qui est très-étroite; mais il n'en est plus de même de l'ouverture beaucoup plus grande du verre objectif. Voilà pourquoi la scintillation que nous éprouvons lorsque nous regardons les étoiles avec nos yeux seulement, cesse lorsque nous les regardons à travers un télescope. » (Édition de madame du Châtelet.)

Cette explication est sensiblement modifiée dans l'*Optique*, ainsi qu'on le remarquera en lisant attentivement le passage suivant :

« L'air, au travers duquel nous regardons les astres, est dans une agitation continuelle, ce qui se remarque au vacillement de l'ombre d'une haute tour et à la scintillation des étoiles fixes. Vues au travers des lunettes de grande ouverture, ces étoiles ne scintillent point; car leurs rayons, qui passent par différents points de l'ouverture, oscillant chacun à part (toujours d'une manière différente et quelquefois opposée), tombent en même temps sur différents points du fond de l'œil, où leurs oscillations deviennent trop vives et trop confuses pour être aperçues séparément. Or, tous ces points, confondus par de courtes oscillations extrêmement promptes, produisent un large point lumineux, et font paraître l'étoile non-seulement plus grande qu'elle ne devrait, mais

exempte de scintillation. » (Traduction publiée par Beauzée.)

Dans la première explication, celle de la *Philosophie naturelle,* Newton fait jouer à la *trémulation* de l'air un rôle qu'on a quelque peine à admettre. En effet, si cette trémulation détourne de la prunelle, dans un moment donné, des rayons qui y seraient entrés sans cela, elle doit, par compensation, y faire pénétrer des rayons voisins qui, dans une atmosphère tranquille, seraient tombés sur la cornée opaque.

Dans l'*Optique,* il n'est plus question des déviations latérales qui faisaient tomber de minces faisceaux lumineux en dehors de la prunelle vers laquelle ils se dirigeaient, mais seulement de petites déviations des rayons d'où devraient résulter les images des étoiles dilatées et non scintillantes. Or, des observations faites *ad hoc* ont prouvé que les images des étoiles, dans les lunettes, sont quelquefois scintillantes, sans dilatation sensible, et que, de plus, elles passent successivement par toutes les couleurs prismatiques. Il ne semble donc pas nécessaire de se livrer plus longuement à l'examen d'une théorie qui ne rend pas compte d'une circonstance aussi essentielle, et qui, sur les autres points, donne des résultats démentis par l'observation.

§ 19. — Kern.

En parcourant le Catalogue de la bibliothèque de Poulkova (observatoire central de la Russie), je vis que cet établissement possédait deux dissertations *ex professo*

sur la scintillation : l'une, imprimée à Wittenberg, en 1686, a pour auteur Jean-Jérémie Kern; l'autre, imprimée à Upsal, en 1799, est de Bernard Odström. M. Struve voulut bien me les adresser en communication; mais je n'y ai rien trouvé qui soit digne de remarque.

Kern s'arrête à l'opinion « que la scintillation se fait par les paroxysmes propres à toutes les fortes lumières, paroxysmes dont on voit des exemples dans les oscillations des chandelles, des flambeaux. »

Nous avons déjà réfuté cette opinion; nous sommes donc dispensés de nous en occuper de nouveau.

§ 20. — Jurin.

Jurin entend prouver qu'en prenant à la lettre la théorie newtonienne des accès de facile transmission et de facile réflexion, l'image ordinaire d'un point lumineux sur la rétine doit être formée d'un petit cercle central, lumineux ou obscur, entouré d'une série d'anneaux circulaires très-serrés, successivement obscurs et lumineux. Et comme la longueur du chemin parcouru, qui suffit pour faire passer un rayon de l'accès de facile transmission à l'accès de facile réflexion, est excessivement petite, l'auteur remarque que le moindre mouvement du corps ou de l'œil de l'observateur doit suffire pour rendre lumineux ce qui était obscur dans l'image, et *vice versâ*. Passant de ces considérations théoriques à l'explication du phénomène de la scintillation, Jurin s'exprime ainsi : « Si le milieu de l'image d'une étoile devient de lumineux obscur, et que l'anneau adjacent devienne en même

temps lumineux, d'obscur qu'il était, ce qui peut arriver par le moindre mouvement de l'œil pour s'approcher ou pour s'éloigner de l'étoile, cela doit occasionner l'apparence que nous appelons *scintillation*, ou petillement des étoiles. »

Le plus grand défaut de cette explication ne consiste pas en ce qu'elle suppose que l'image confuse sur la rétine, pour un œil observant sans le secours d'aucun instrument, est formée d'une série d'anneaux lumineux et obscurs dont personne n'a pu vérifier l'existence; mais on doit remarquer qu'elle ne satisfait pas aux circonstances les plus simples du phénomène.

La scintillation, suivant cette théorie, serait indépendante de l'état de l'air. Elle aurait, au contraire, une liaison intime avec l'immobilité ou la mobilité de l'observateur; en sorte, par exemple, qu'un très-léger mouvement de la tête en avant ou en arrière ferait scintiller un astre aussi souvent que ce mouvement se renouvellerait, ce qui est contraire aux observations. L'hypothèse ne rend d'ailleurs aucun compte du changement de couleurs ni des effets singuliers que le phénomène présente quand on l'étudie avec une lunette dont l'oculaire n'est pas au point.

§ 21. — Jacques Cassini.

Pour Jacques Cassini, la scintillation est « une sorte de chevelure lumineuse » dont les étoiles paraissent entourées (à l'œil nu).

Les rayons composant cette chevelure ont éprouvé

dans l'atmosphère des réfractions ou des réflexions extraordinaires.

Les lunettes rendent cet étincellement moins sensible, parce qu'elles réunissent plus parfaitement les rayons écartés et parce qu'elles interceptent même une partie de la lumière.

Si j'étais certain d'avoir bien saisi l'explication de Cassini, je n'hésiterais pas à dire qu'elle renferme autant d'erreurs que de mots, et à m'écrier :

La scintillation n'est pas une chevelure lumineuse ; les rayons qui composent cette chevelure n'ont pas éprouvé dans l'air des réfractions ou des réflexions extraordinaires ; si dans les lunettes cette chevelure est moins sensible, ce n'est pas parce que les lunettes réunissent plus parfaitement les rayons écartés, parce qu'elles interceptent la lumière. La chevelure est une illusion provenant de l'œil, voilà tout.

§ 22. — Dr Long.

L'opinion qui fait consister la scintillation en des disparitions momentanées des étoiles, dépendantes de l'interposition fortuite, entre ces astres et l'œil, de poussières voltigeant dans l'air, opinion renouvelée de Riccioli (page 70), se trouve développée dans le tome Ier de l'*Astronomie* de Robert Long, imprimé en 1742. Mais l'auteur n'a pas remarqué que, si petite que soit une étoile, sa disparition exigerait une poussière d'un diamètre égal à celui de la pupille.

Long a du reste observé comme Hooke, son prédé-

cesseur, que les rayons du Soleil réfléchis par un verre sous-tendant un petit angle, scintillent beaucoup. Il ne parle pas des couleurs dont le phénomène est accompagné.

§ 23. — Mairan.

Mairan assimile la scintillation au mouvement ondulatoire, au mouvement d'oscillation qu'on aperçoit en regardant l'horizon « par-dessus une vaste campagne éclairée du soleil », ou au mouvement que les rayons partant d'un objet éprouvent en pénétrant dans l'œil après avoir presque rasé la surface d'un poêle. (*Mémoires de l'Académie des sciences*, 1743, p. 28.)

La scintillation étant tout autre chose qu'une ondulation, l'assimilation faite par Mairan est obsolument sans objet et sans utilité.

§ 24. — Michell.

Voici l'explication que Michell, ce physicien si ingénieux, a donnée de la scintillation.

Une simple particule de lumière produit une impression sensible sur l'organe de la vue. Cette impression a une certaine durée. Dès lors il suffira qu'il nous arrive un petit nombre de molécules chaque seconde, trois ou quatre, si l'on veut, pour qu'un objet soit visible. Peut-être le nombre de celles que nous recevons des plus brillantes étoiles, même de Sirius, ne surpasse pas 3,000 ou 4,000 par seconde. Dans ce cas il ne serait pas extraordinaire que les inégalités qu'amènera le hasard

(*chance*) dans le nombre de rayons, ou rares ou condensés, qui pénètrent dans l'œil à chaque quart ou cinquième de seconde, soient suffisantes pour rendre compte des changements d'intensité qui constituent la scintillation et se répètent si fréquemment. L'addition ou la soustraction de un sur vingt doit amener ces résultats. On n'en doutera pas si l'on remarque que l'étoile située au milieu de la queue de la Grande Ourse est seulement quinze ou vingt fois plus lumineuse que la petite étoile voisine.

Suivant Michell, les rayons rouges et bleus existent dans la lumière blanche en moindre quantité que ceux des nuances intermédiaires. Dès lors l'inégalité, provenant *from the common effect of chance*, sera proportionnellement plus grande relativement au rouge et au bleu que pour les autres nuances, et un petit excès ou un petit déficit dans le nombre de ces premiers rayons donnera naissance aux phénomènes de coloration dont la scintillation est toujours accompagnée.

Qu'est-ce, dans cette explication, que le *common effect of chance?* Les changements d'intensité tiennent-ils à des inégalités réelles dans l'émission des rayons, ou à l'influence de notre atmosphère? Dans le premier cas, les étoiles scintilleraient également à toutes les hauteurs, ce qui n'est pas. Dans le second, il faudrait définir les accidents atmosphériques qui auraient la propriété de produire souvent le *common effect of chance* dans une plus grande proportion sur les rayons rouges ou bleus que sur les autres; sans cela on n'aurait rien expliqué : on aurait redit le phénomène en d'autres termes.

Ne résulterait-il pas de l'explication donnée par Michell que la scintillation devrait totalement cesser dans une lunette? Comment d'ailleurs rendre compte, dans cette même théorie, des phénomènes décrits p. 15 et qui s'observent en dehors du foyer?

§ 25. — Lalande.

« Le diamètre d'une étoile est si petit, dit Lalande, que les moindres molécules de matière qui passent entre elle et nous, par l'agitation de l'atmosphère, suffisent pour nous cacher l'étoile et nous la montrer alternativement. Si l'on conçoit que ces alternatives soient assez fréquentes et assez courtes pour qu'à peine notre œil puisse les distinguer l'une de l'autre, on comprendra que les étoiles doivent paraître dans une espèce de tremblement continuel. » (Lalande, *Astronomie*, t. III, p. 85.)

Il y a dans ce raisonnement une erreur manifeste que Michell avait déjà signalée en 1777. (Voyez les *Transactions philosophiques*.)

Il ne suffirait pas de la moindre particule de matière opaque pour faire disparaître une étoile, quelque petit que fût son diamètre apparent; il faudrait que la particule eût un diamètre au moins égal à celui de la pupille : or on ne voit rien flotter habituellement d'aussi volumineux dans notre atmosphère. Des molécules opaques pareilles existeraient, qu'il resterait à expliquer les couleurs.

§ 26. — Musschenbroeck.

Musschenbroeck, après avoir rapporté ses observations sur la scintillation, après avoir soutenu qu'elle « ne dépend pas de l'atmosphère, ou de l'abondance des exhalaisons qui s'y élèvent, » ne trouve rien à dire sur le phénomène, si ce n'est « qu'il dépend de la vivacité de la lumière et de l'activité avec laquelle elle agit sur l'organe de notre vue! » (Tome II, page 465; édition française.)

Ceci ne fait pas faire un seul pas à la question. En effet, on doit se demander comment la vivacité de la lumière, comment l'activité de son action sur l'organe de la vue sont capables de produire la scintillation.

On remarquera que cette prétendue explication avait déjà été donnée par Gassendi (page 69).

§ 27. — Darwin.

Le savant qui a consacré une grande partie de sa carrière à l'étude d'un fait scientifique spécial, est involontairement conduit, par une tendance naturelle de l'esprit humain, à y trouver l'origine, la cause, l'explication de phénomènes qui n'ont avec ce fait aucune relation. Telle est en abrégé l'histoire de Darwin.

Lorsque la rétine a été fatiguée, dans une portion limitée de sa surface, par l'action d'une lumière colorée, du rouge par exemple, si l'œil se porte sur un fond blanc, il aperçoit aussitôt une image, dont la couleur est celle qui résulte de la réunion de toutes les nuances prisma-

tiques, moins le rouge. Le résultat est tout autre, mais découle des mêmes principes, lorsque le fond sur lequel l'œil fatigué se porte est lui-même coloré.

Tel est le principe fort employé pour rendre compte des phénomènes de contraste, auquel Darwin a recours pour expliquer les couleurs observées par Melville pendant la scintillation de Sirius.

La vue, dit-il, étant fatiguée par les rayons blancs et brillants de l'étoile, si l'œil se portait sur le bleu du ciel, on devait voir une image bleue.

Les objections contre cette explication sont si nombreuses, qu'on ne sait vraiment par lesquelles commencer.

D'abord les couleurs se montrent dans l'étoile et non à côté; elles se voient dans la nuit la plus obscure, lorsque le bleu du ciel ne peut jouer absolument aucun rôle. On aperçoit non-seulement du bleu quand Sirius scintille, mais encore du vert, du jaune, du rouge; ces couleurs, on ne saurait en rendre compte par le spectre oculaire. Enfin, car il faut se borner, comment expliquerait-on que, dans certains climats et dans certaines saisons, les couleurs qui accompagnent la scintillation des étoiles cessassent presque tout à fait? Prétendrait-on que les propriétés physiologiques de l'œil sont alors suspendues?

En vérité, on est surpris et confus lorsqu'on voit une théorie qui ne supporte pas le moindre examen, admise dans un ouvrage tel que les *Transactions philosophiques*, et donnée sous l'autorité d'un homme aussi distingué que l'était Darwin.

§ 28. — Saussure.

Saussure fait de la scintillation une oscillation des rayons lumineux, produite par des alternatives de condensation et de dilatation dans certaines parties de l'atmosphère. (*Voyage au Col du Géant*, t. IV, p. 303.)

Nous avons déjà trouvé cette idée de la scintillation dans Alhazen et Hooke; Newton la suit en partie; Mairan l'adopte complétement. Nous la rencontrerons encore dans des auteurs plus modernes; mais elle est renversée d'un seul mot : la scintillation n'est pas une oscillation des images, ainsi que cela résulte de l'expérience rapportée à la page 71.

§ 29. — Odström.

Odström (voir le paragraphe 19 consacré à Kern, p. 76) soutient que la scintillation est produite par l'interposition de corps ou de vapeurs opaques, égaux en surface ou supérieurs à la pupille, ce qui engendre la disparition des étoiles; ou par l'interposition de vapeurs ou de corps ayant moins de surface que la pupille, ce qui alors n'amène que l'affaiblissement de l'astre.

Odström explique ainsi pourquoi les étoiles, suivant l'opinion commune (qu'il adopte), ne scintillent pas dans les lunettes et surtout dans les télescopes à grandes ouvertures.

Quant aux planètes, la rareté de leur scintillation tient à ce que les vapeurs opaques ont rarement un diamètre apparent égal à celui de ces astres, et à ce qu'une

diminution dans une faible lumière produit moins d'effet qu'une diminution proportionnée dans une lumière brillante.

Je renvoie, pour l'appréciation de l'explication d'Odström, aux paragraphes consacrés à Scheiner, à Riccioli, etc. (p. 68, 70, etc.).

§ 30. — Young et Nicholson.

Voici comment Young parle de la scintillation dans le tome Ier de son traité de *Natural Philosophy*, page 490 :

« La cause de la scintillation des étoiles n'est pas parfaitement connue; mais on rapporte ce phénomène, avec quelque probabilité, à des changements qui arrivent perpétuellement dans l'atmosphère et en altèrent le pouvoir réfringent (*its refractive density*). »

Après avoir rapporté la curieuse expérience où l'image de Sirius, étant transformée en un ruban de lumière, conduit à la conséquence que l'image de cette étoile change de couleur trente fois au moins par seconde, Nicholson déclare n'avoir trouvé dans aucune propriété connue de la lumière l'explication de ce phénomène.

Peut-être, après ces deux déclarations négatives et si formelles, trouvera-t-on étrange de me voir inscrire les noms de Young et de Nicholson parmi ceux des astronomes qui ont cru pouvoir expliquer la scintillation. Je dirai, pour mon excuse, qu'il m'a paru utile de constater que l'auteur de la doctrine des interférences, du moins en tout ce qui est relatif aux chemins parcourus; que l'auteur de la seule expérience vraiment nouvelle

qui ait été faite sur la scintillation depuis l'époque d'Aristote jusqu'à ces derniers temps, n'avaient pas hésité, en présence des difficultés du problème, à dire : nous ne savons pas! Il y a plus de vrai mérite dans cette franchise que dans des essais d'explication avortée.

§ 31. — M. Biot.

La scintillation, suivant M. Biot, est une sorte de tremblement, de déplacement des étoiles, occasionnée par de fréquentes inégalités dans les réfractions que les rayons de lumière éprouvent en traversant l'atmosphère. Ces inégalités de réfraction, mon illustre confrère les attribue à la condensation plus ou moins irrégulière des vapeurs aqueuses suspendues au milieu de l'air, et aux variations locales et passagères de densité ou de température qui en résultent.

M. Biot explique, dans la même hypothèse, l'absence de scintillation des planètes en disant que les inégalités accidentelles des réfractions atmosphériques ne sont pas assez fortes pour déplacer en totalité les disques de ces astres. (*Astronomie physique,* tome I, pages 231 et 232, 2e édition.)

Si la scintillation, ce que toute observation exacte dément, était un déplacement des images des astres, cette explication pourrait être admise. Il resterait toutefois à rendre compte des variations de couleurs de ces images, ce qui ne semble pas aisé lorsqu'on se borne à ne faire jouer un rôle qu'aux inégalités de réfraction.

Pour me soustraire au reproche d'avoir réfuté une

théorie empruntée à la seconde édition du *Traité d'astronomie*, alors qu'elle a été modifiée dans la troisième, je dirai que les modifications n'ont rien d'essentiel, que l'auteur attribue toujours la scintillation à une sorte de trépidation des étoiles qui serait quelquefois visible à l'œil nu, ce qui lui donnerait une valeur d'au moins une minute de degré, contrairement à tout ce qui résulte des observations les plus certaines. M. Biot, dans sa troisième édition, sent le besoin de considérer le changement de couleur des étoiles dont il n'avait nullement parlé dans la seconde, et a la bonté de citer la liaison que j'ai cherché à établir entre ce phénomène et celui des interférences. Mais ce célèbre physicien ne dit rien de ce qu'on observe dans les lunettes.

§ 32. — M. Forster.

Dans un Mémoire publié en 1824, M. Forster[1] dit qu'il avait d'abord pensé devoir attribuer les variations de couleurs d'une étoile qui scintille, « à quelque changement survenu dans l'étoile elle-même, ou à un mouvement de rotation qui aurait successivement rendu visibles de la Terre des parties de la surface de l'astre diversement colorées. Mais je crois maintenant, ajoute-t-il, que le phénomène dépend de l'atmosphère. J'imagine qu'il peut y avoir dans les parties supérieures de l'air, une sorte de mouvement ondulatoire, et que les couleurs alternatives résultent de leur pouvoir réfractif :

1. Voir plus loin § 3 de l'Appendice qui suit cette Notice.

car l'atmosphère, agissant alors comme un prisme imparfait, peut envoyer à l'œil différentes couleurs, suivant les inclinaisons diverses que doit prendre la surface onduleuse. »

Comment M. Forster n'a-t-il pas vu que, dans son hypothèse, toute étoile scintillante se présenterait à l'œil nu, comme dans une lunette, sous la forme d'un spectre prismatique d'une certaine longueur et à couleurs très-séparées, et que la réfraction atmosphérique éprouverait, même à de grandes hauteurs, des changements intermittents qu'aucune observation n'a signalés?

§ 33. — M. Capocci.

M. Capocci, directeur de l'observatoire de Naples, a inséré dans le second numéro des *Comptes rendus de l'Académie de Naples*, pour 1842, sa théorie de la scintillation.

M. Capocci voit dans la scintillation deux phénomènes distincts : la formation des rayons divergents qui semblent partir des étoiles dans tous les sens (*l'irraggiamento*); et la scintillation proprement dite, en vertu de laquelle la couronne de rayons s'étend et se resserre sans cesse par intermittence.

M. Capocci déclare d'abord que la cause des rayons divergents est dans l'œil et non dans le corps lumineux, ce que personne assurément ne contestera. Je l'avertirai même que la preuve qu'il prend la peine de donner de son opinion; que l'expérience, nouvelle sans doute suivant lui, dans laquelle il voit les rayons d'une étoile

tourner et suivre exactement le mouvement de la tête, est consignée dans un Mémoire d'Hassenfratz, dont l'analyse a paru en 1809, tome XLIX du *Journal de Physique.*

M. Capocci ne trouvera pas plus de contradicteurs lorsqu'il annoncera que les rayons divergents dont les images des étoiles paraissent entourées sont d'autant plus étendus que les étoiles ont plus d'éclat. Il n'y a pas une personne qui n'ait remarqué combien les étoiles de première grandeur paraissent, à l'œil nu, occuper d'espace dans le firmament; combien les images des étoiles de quatrième et de cinquième grandeur sont, au contraire, resserrées. Ceci est en quelque sorte un axiome applicable aussi aux lumières terrestres. Mais en quo toutes ces observations surannées donnent-elles des vues nouvelles sur le phénomène qu'il s'agit d'expliquer?

Une étoile change d'intensité; les rayons dont elle semble entourée changeront simultanément d'étendue, c'est convenu de toute éternité : mais quelle a été la cause du changement d'intensité? Quand on dit, avec M. Capocci, c'est le défaut de transparence homogène de l'atmosphère, on tourne la difficulté, on ne la résout pas. Que sont d'ailleurs, dans cette prétendue explication, les variations de couleurs des étoiles, si manifestes même à l'œil nu, les changements singuliers observables dans les lunettes, etc., etc.? Laisser de côté ces traits saillants, ces traits caractéristiques du phénomène, lorsqu'on avoue avoir eu connaissance des efforts d'un autre astronome pour en rendre compte, c'est, j'ose le dire, plus que de la légèreté; c'est ne pas comprendre

les exigences de ce qu'on prétend décorer du nom d'explication ou de théorie.

M. Capocci prétend, à tort, placer ses insignifiantes remarques sous l'autorité du grand nom de Galilée. L'illustre astronome de Florence voyait dans les humeurs de l'organe de la vision la cause des rayons divergents dont les étoiles paraissent entourées à l'œil nu ; quant à la scintillation, phénomène totalement différent, il en plaçait la cause dans l'astre lui-même, ainsi que je l'ai rappelé (p. 66).

§ 34. — M. Kaemtz.

M. Kaemtz, le célèbre physicien allemand, s'est occupé en détail de la scintillation dans son *Traité de météorologie ;* il regarde, en partie, ce phénomène comme une oscillation de l'étoile autour de sa position moyenne. Ceci, je l'ai déjà dit, ne me semble pas pouvoir être admis. En effet, l'oscillation devrait être considérable pour qu'on pût l'apercevoir à l'œil nu; elle se ferait sentir dans les instruments de mesure et empêcherait les observations. C'est par erreur, je le répète, qu'on a cherché à établir une connexion nécessaire entre la scintillation et les oscillations des étoiles.

Les planètes, ajoute l'auteur allemand, ayant un diamètre apparent de 30 à 40 secondes, il est plus difficile d'apprécier leur changement de volume apparent. Je ne ferai aucune remarque critique sur ce passage, parce que c'est peut-être par une erreur de traduction qu'il est question ici d'un changement de volume.

M. Kaemtz reconnaît que, outre son prétendu mouvement oscillatoire, il y a dans la scintillation des variations d'intensité et de coloration; il rappelle à ce sujet que l'auteur de cette notice avait déjà très-anciennement essayé de rattacher ces deux phénomènes aux interférences de la lumière. Mais, faute de s'être rappelé les lois qui régissent les additions et les destructions de lumière lorsque les rayons ont traversé des couches inégalement réfringentes, ce qu'il dit à ce sujet manque de clarté et, qui plus est, de précision. Ainsi, M. Kaemtz regarde une inégalité dans les réfractions éprouvées par les rayons interférents comme la seule cause qui puisse amener successivement la destruction des rayons de diverses couleurs dont le spectre se compose; tandis qu'il résulte de ce qu'on a pu lire précédemment (chap. xv, p. 31), que des rayons au point de leur croisement s'ajoutent ou se détruisent sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir une inégalité de réfraction. M. Kaemtz me paraît ne pas avoir connu les phénomènes de scintillation qu'on observe dans les lunettes et sur lesquels j'ai tant insisté.

§ 35. — M. Arago.

Dès le moment où mes réflexions se portèrent sur les causes de la scintillation, il me vint à l'esprit que le changement d'intensité et le changement de couleur des étoiles pouvaient être rattachés aux phénomènes des lames minces si minutieusement analysés par Newton.

D'après la théorie de cet immortel physicien, il existe

pour toute nature de corps solide ou fluide, des épaisseurs où ces corps ne réfléchissent aucun rayon lumineux: des épaisseurs différentes, mais également très-petites, où la lumière tombant blanche, se réfléchit rouge, jaune, verte, bleue, violette ; où la lumière transmise présente précisément les teintes complémentaires.

Ceci admis, supposons qu'il existe dans l'atmosphère des couches flottantes, des couches d'eau par exemple, ayant ces différentes épaisseurs ; les étoiles vues au travers paraîtront avec des éclats variables ; elles se montreront colorées tantôt en bleu, tantôt en violet, en vert, en jaune, en rouge.

Toutes ces conséquences étant conformes aux observations, pourquoi ne regarderait-on pas l'hypothèse qui les a données comme parfaitement justifiée? Pourquoi chercher dans des phénomènes complexes d'interférences une explication qui se déduit si naturellement des propriétés des lames minces? Examinons.

L'explication suppose qu'il y a dans l'air des lames flottantes assez minces pour produire, par voie de transmission, le rouge, le jaune, le vert, etc. De telles lames existent-elles dans notre atmosphère?

Je crois qu'on peut prouver qu'elles n'existent pas.

Supposons, en effet, qu'une de ces lames vienne se placer entre l'œil de l'observateur et le Soleil, la Lune, Jupiter, Saturne ou Mars. On verra sur-le-champ, à la surface de ces astres, suivant l'épaisseur de la lame interposée, une tache rouge, jaune, bleue, verte ou violette. On verrait même ces teintes en plein air, sur des parties circonscrites du bleu du ciel. L'absence de ces

phénomènes m'autorise, je crois, à affirmer que la cause n'existe pas.

Un motif non moins puissant m'a déterminé à renoncer à cette explication, c'est l'impossibilité de rendre compte par des lames minces, sans recourir du moins aux interférences, des disparitions et réapparitions que le centre d'une image d'étoile dilatée éprouve de temps en temps dans une lunette.

CHAPITRE XX

CONCLUSIONS

J'ai fait, dira-t-on, bien des critiques ; ni l'ancienneté, ni la célébrité des auteurs des théories n'ont trouvé grâce devant vous. Ne craignez-vous pas qu'on vous applique la peine du talion ? Non, je ne crains rien de pareil ; mes réfutations ont été dictées par l'amour de la science et de la vérité. Je recevrai avec déférence tout ce qui pourrait ébranler la nouvelle explication.

Pour parler sincèrement, je pense qu'en rattachant la scintillation aux interférences, qu'en faisant intervenir dans ma théorie la densité ou plutôt la réfringence des couches traversées par les rayons, j'ai envisagé le phénomène sous son véritable jour. Je suis loin cependant de croire qu'après avoir établi ces bases, il ne reste plus rien à faire ; que l'explication, au point de vue théorique et expérimental, ne pourrait pas être perfectionnée. Par exemple, personne, à ma connaissance, n'a rattaché d'une manière entièrement satisfaisante et jusque dans leur valeur numérique les disques planétaires que les

étoiles acquièrent et les anneaux dont ces disques sont entourés, à la théorie des interférences.

On m'assure qu'un géomètre allemand, M. Schwerd, a réussi dans cette recherche, mais on me dit en même temps que, suivant les calculs de M. Schwerd appliqués d'ailleurs à des lentilles simples non achromatiques, les diamètres des planètes, quand ces astres sont observés avec un objectif réduit, devraient être augmentés comme le diamètre des étoiles; or, ce résultat est complétement démenti par les observations directes [1].

J'ai attribué, en termes généraux, la formation des trous noirs au centre de l'image d'une étoile dilatée, à l'interférence des rayons directs qui étaient arrivés à ce point avec les rayons infléchis sur les bords de l'ouverture circulaire placée devant l'objectif. Fresnel a déjà montré, dans son second et mémorable Mémoire sur la diffraction, que cette manière d'envisager les phénomènes, adoptée avant lui par Young, n'était pas exacte, et qu'il fallait prendre l'intégrale des ondes élémentaires partant de tous les points des ondes tronquées. On devra appliquer cette conception lorsqu'on voudra donner à l'explication toute la rigueur mathématique.

Les trous formés aux centres des images dilatées des

1. Un jour, conversant avec M. Babinet à la fin de 1827, je lui communiquai des expériences que j'avais faites, en vue d'une théorie de la scintillation, sur les trous obscurs et les petits disques lumineux qu'on voit successivement dans l'image dilatée d'une étoile observée en dehors du foyer. Ces phénomènes le frappèrent au plus haut degré, et le lendemain il m'adressa des calculs fondés sur la doctrine des interférences qui les expliquaient d'une manière satisfaisante. Il est bien désirable que le public ne soit pas privé plus longtemps des investigations de mon savant confrère.

étoiles sembleraient devoir être successivement rouges, jaunes, verts, bleus, etc.; mais ces trous sont tout à fait noirs. D'après un premier aperçu, les images variables qui viennent momentanément se former aux centres de ces trous sembleraient devoir offrir successivement toutes les couleurs du spectre; l'observation montre cependant que ces points lumineux intermittents sont d'une extrême blancheur lorsqu'on se sert d'un objectif achromatique. Mais aussi pourquoi s'en rapporterait-on à un premier aperçu? Je me rappelle que l'un des commissaires chargés d'examiner le second Mémoire de Fresnel sur la diffraction, fit contre la théorie de ce célèbre physicien une objection qu'il croyait insurmontable; il avait trouvé, par le calcul, que, à une certaine distance d'un écran circulaire opaque, le centre de l'ombre de cet écran devait être parfaitement lumineux et blanc, que son éclat ne paraissait pas devoir différer sensiblement de celui de la lumière dont l'écran était extérieurement entouré. Eh bien, vérification faite, je trouvai que le résultat du calcul était conforme aux observations.

Au reste, l'absence de couleurs dans les points lumineux qui viennent se former de temps en temps dans le centre obscur de l'image d'une étoile dilatée tient peut-être à l'achromatisme de l'objectif; il est du moins certain que l'on ne pourrait l'expliquer par la faiblesse de la lumière; car, en déroulant l'étoile en ruban, suivant la méthode de Nicholson, on voit le ruban correspondant à ces points lumineux teint de toutes les couleurs prismatiques.

J'ajouterai qu'en regardant un jour l'image du Soleil,

réfléchie, si je ne me trompe, par la boule qui supporte la croix du dôme de la Sorbonne, je la trouvai très-scintillante, et que le point lumineux qui paraissait au centre de cette image dilatée, comme dans l'expérience des étoiles, me sembla vivement coloré.

Pour savoir quel rôle joue dans ce phénomène l'intensité de la lumière, j'avais fait construire des boules de verre et des boules métalliques de différents diamètres et parfaitement polies; j'avais également en vue de déterminer expérimentalement le diamètre angulaire que devait avoir l'image du Soleil pour qu'elle ne scintillât pas dans les circonstances atmosphériques les plus favorables.

Je me proposais aussi d'examiner le rôle qu'on pourrait vouloir attribuer à l'oculaire dans l'ensemble de ces phénomènes.

Mais l'état de ma santé, surtout celui de mes yeux, me force de laisser à d'autres plus heureux le soin de compléter ce que je n'ai pu qu'ébaucher.

Ils trouveront une ample moisson d'observations et de recherches intéressantes, au point de vue de l'optique générale et de la théorie des ondulations, s'ils font varier la forme de l'ouverture par laquelle la lumière pénètre dans la lunette.

En substituant, suivant mon désir, un triangle équilatéral à un cercle, mes deux jeunes collaborateurs, MM. Goujon et Charles Mathieu, sont arrivés à des résultats très-curieux; mais je dois leur laisser le plaisir de les communiquer eux-mêmes au monde savant.

APPENDICE

[La Notice sur la scintillation a été insérée dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1852; elle est reproduite ici avec de légères corrections. C'est la forme définitive sous laquelle M. Arago a rédigé ses idées relativement à ce curieux phénomène dont il s'est occupé pendant plus de quarante années. Auparavant il avait fait connaître succinctement son explication de la scintillation dans trois occasions différentes : en 1814, dans une note communiquée à M. de Humboldt et insérée à la fin du livre IV du *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent*; en 1824, dans les *Annales de chimie et de physique*, à propos d'un Mémoire de M. Forster sur les forces réflective, réfractive et dispersive de la lumière; en 1840, dans un Mémoire communiqué à l'Académie des sciences et dont un résumé succinct a été inséré dans le tome X des *Comptes-rendus*.

Cet Appendice contient les trois notes publiées par l'illustre savant à ces trois époques, ainsi qu'une quatrième note sur un phénomène de diffraction, lue le 26 février 1816 à la classe des sciences de l'Institut.]

§ 1. — Explication du phénomène de la scintillation, remise à M. de Humboldt en 1814, et insérée à la fin du livre IV du *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent*.

Les physiciens et les astronomes qui se sont occupés de la scintillation des étoiles ont fait, pour la plupart,

abstraction de la circonstance peut-être la plus remarquable de ce phénomène, je veux parler de ces changements brusques et fréquents de couleur dont il est toujours accompagné. Les progrès que la théorie physique de la lumière a faits depuis quelques années nous permettront, ce me semble, de rattacher l'explication de ce fait curieux à la loi des interférences dont on doit la découverte au docteur Young.

D'après les expériences de ce célèbre physicien, deux rayons de lumière homogène et qui parviennent en un même point de l'espace par deux routes légèrement inégales, s'ajoutent ou se détruisent suivant que la différence des chemins parcourus a telle ou telle valeur. Les différences qui conviennent à la neutralisation des rayons de diverses nuances sont assez sensiblement inégales pour que le résultat de l'interférence ou du mélange de deux faisceaux blancs soit toujours accompagné d'une coloration sensible : l'expérience a prouvé de plus (voir § 2 de cet appendice) qu'il ne suffit pas, en recherchant la place où deux faisceaux peuvent s'influencer, de tenir compte de la différence des chemins parcourus, mais qu'il est de plus nécessaire d'avoir égard à l'inégale réfringence des milieux qu'ils ont traversés. Cela posé, il est facile de démontrer que les rayons qui, en partant d'un même point, viennent se réunir au foyer d'une lentille peu étendue, vibrent d'accord ou s'ajoutent s'ils ont tous traversé des milieux de même densité ou d'une égale réfringence; le même raisonnement montrera, au contraire, qu'une inégalité de réfringence pourra, suivant qu'on la supposera plus ou

moins grande, donner naissance, dans le même foyer, à la neutralisation de telle ou telle classe de rayons colorés. En appliquant ces considérations à la scintillation des étoiles on trouvera que, si tous les rayons qui parviennent aux différentes parties de la pupille traversent constamment des couches atmosphériques de même densité, l'image de l'astre aura toujours la même intensité et la même teinte, tandis que, dans le cas contraire, elle pourra changer de nuance et d'éclat à chaque instant. Pour un astre au zénith les chances de scintillation seront beaucoup moindres, sous les mêmes circonstances, que pour un astre peu élevé au-dessus de l'horizon. Dans nos climats elles seront moindres que sous les tropiques où la chaleur est plus uniformément distribuée dans les couches atmosphériques. Les changements d'intensité se verront plus facilement dans les étoiles de première grandeur, où ils seront accompagnés d'un changement de couleur plus prononcé, que dans les étoiles faibles, dans les astres blancs que dans ceux qui sont naturellement colorés. Toutes ces circonstances, si je ne me trompe, sont conformes aux observations.

§ 2. — Note sur un phénomène remarquable qui s'observe dans la diffraction de la lumière, lue à l'Institut le 26 février 1816.

La classe nous a chargés, M. Poinsot et moi, de lui rendre compte d'un Mémoire sur la diffraction de la lumière, qui lui a été présenté par M. Fresnel, ancien élève de l'École polytechnique et actuellement ingénieur des ponts et chaussées. Je me suis occupé, autant que l'état du ciel l'a permis, de la vérification des lois auxquelles

cet habile physicien a été conduit, et qui me semblent destinées à faire époque dans la science. Dans peu de temps ce travail sera complet, et j'en présenterai une analyse détaillée à la classe : mais en attendant, j'ai cru devoir extraire de mes observations un fait qui me paraît nouveau, et qui, rattaché à la théorie que M. Fresnel développe dans son Mémoire, semble devoir conduire à des conséquences importantes.

Lorsqu'un corps opaque est placé dans un faisceau de lumière, son ombre est bordée à l'extérieur de bandes de diverses nuances et de diverses largeurs. Ces bandes ont été étudiées par Newton, dans le troisième livre de son *Optique*, mais ce célèbre physicien ne parle pas des bandes non moins remarquables qui se forment dans l'intérieur de l'ombre des corps déliés, quoique Grimaldi en eût déjà donné une description détaillée dans son ouvrage, et il affirme même positivement qu'aucune lumière ne pénètre dans l'ombre géométrique. L'inexactitude de ce résultat fut suffisamment prouvée par Maraldi et De l'Isle, qui, du reste, n'ajoutèrent rien de saillant à ce que Grimaldi avait découvert longtemps avant. Tel était l'état de nos connaissances sur cette question délicate, lorsque le docteur Thomas Young fit l'expérience très-remarquable qui se trouve consignée dans les *Transactions philosophiques* pour 1803, et d'où il résulte que, pour faire disparaître la totalité des bandes qui se forment dans l'intérieur de l'ombre d'un corps, il suffit d'arrêter, avec un écran opaque, la portion de lumière qui vient de raser ou qui va raser *un seul* des deux bords, et quoique les rayons qui passent près du bord

opposé puissent continuer leur course comme précédemment.

L'expérience qui fait l'objet de cette note consiste en ceci : que pour faire disparaître également la totalité des bandes intérieures, on peut substituer un verre diaphane et à faces parallèles à l'écran opaque du physicien anglais. M. Young avait montré que la production des bandes colorées intérieures nécessite le concours des deux faisceaux blancs infléchis dans l'ombre par les deux bords du corps. Ce que je viens de dire prouve, de plus, que ces faisceaux ne fournissent des bandes que lorsqu'ils se rencontrent sous certaines circonstances particulières; et ce qui semble ne laisser aucun doute sur la nature de ces circonstances, c'est qu'en employant des écrans diaphanes de plus en plus épais, on arrive par degrés au terme de la disparition. Ainsi des lames très-minces de verre, soufflées au chalumeau, n'éteignent pas les bandes intérieures, mais les déplacent toutes de un, de deux, de trois, etc., intervalles, suivant qu'elles ont plus ou moins d'épaisseur. J'ai trouvé des lames de mica qui les transportaient sur l'espace qu'occupent les bandes extérieures ordinaires, et ceci conduit à penser que les verres plus épais, placés d'un seul côté du corps, ne les font disparaître qu'en les transportant dans l'espace éclairé par la lumière non infléchie. Les bandes intérieures sont, à toutes distances, symétriquement placées de part et d'autre du centre de l'ombre. Celles qui se forment sous l'influence de la petite lame de verre sortent plus ou moins de l'ombre, suivant qu'on les reçoit plus ou moins loin du corps, et se rapprochent toujours

du bord auquel la lame est adaptée. Un verre, de quelque épaisseur qu'il soit, ne nuit point à la formation des bandes intérieures s'il déborde le corps opaque des deux côtés, en sorte que les rayons infléchis en dedans aient eu la même épaisseur de verre à traverser. Deux verres inégalement épais, placés des deux côtés du corps, agissent comme une lame unique d'une épaisseur égale à leur différence.

Toutes les circonstances de cette expérience s'expliquent très-bien dans la théorie que M. Fresnel a adoptée; mais pour cela, il faudrait admettre que la lumière se meut plus lentement dans le verre que dans l'air. Telle serait alors, à la vérité, la liaison des faits, qu'on pourrait facilement évaluer la perte de vitesse pour chaque épaisseur de verre, ou de tout autre milieu quelconque, en fonction d'une ondulation aérienne prise pour unité. Je puis même ajouter que M. Fresnel devina l'effet qu'avait dû produire l'interposition d'une lame mince, lorsque je lui eus fait part seulement des phénomènes que présente un verre épais. Ce sera aussi dans la même théorie qu'il faudra sans doute chercher l'explication des bandes diffractées singulières et de diverses nuances, qui se forment dans le voisinage des petites stries qu'on remarque sur les lames de mica et dans d'autres circonstances analogues.

§ 3. — Quelques remarques insérées en 1824 dans le tome XXVI des *Annales de chimie et de physique*, sur un Mémoire de M. Thomas Forster relatif aux forces réflective, réfractive et dispersive de l'atmosphère, qui a été lu à la Société météorologique de Londres en février et mars 1824.

Il n'est pas dans le monde, dit-on, de pays où l'on imprime autant d'ouvrages de science qu'en Angleterre. Je n'ai ni le désir ni les moyens de contester cette assertion, mais si je voulais soutenir que, sauf d'honorables exceptions, les savants anglais ne se donnent point la peine de lire les livres qu'on leur fournit en si grande abondance, je crois vraiment que les recueils périodiques de Londres offriraient d'assez bons arguments pour appuyer cette thèse, quelque paradoxale qu'elle puisse paraître.

Ces réflexions m'ont été suggérées par le Mémoire de M. Thomas Forster. Ce physicien a découvert que les étoiles, quand on les observe près de l'horizon, présentent « de rapides altérations de couleur et d'éclat ». Le fait est exact et très-curieux ; mais est-ce bien M. Forster qui l'a reconnu le premier? On n'ose presque pas le révoquer en doute depuis qu'on a vu une académie en corps accorder à M. Forster une autorisation toute spéciale pour que son écrit, qui ne devait paraître que dans le recueil des Mémoires qu'elle a l'intention de publier, vînt plus promptement à la connaissance des observateurs. Il est cependant bien certain que les changements de couleur qui accompagnent la scintillation ont été signalés par Kepler, par Galilée, par Descartes, etc. Je me hâte d'ajouter, sans cela ma réclamation ne serait

peut-être pas admise, que plusieurs auteurs anglais, Hooke (*Micrography*), Michell (*Philosophical Transactions*, t. LVII), Melville, Priestley (*Hist.*, 497), etc., en ont aussi longuement parlé. Voici les propres paroles de Hooke : « Il est remarquable que les étoiles près de l'horizon changent fréquemment de couleur, de manière qu'on les voit tantôt rouges, tantôt jaunâtres, quelquefois bleues, et cela alors même qu'elles sont parvenues à d'assez grandes hauteurs. » (*Micrography*, p. 218.)

Si M. Forster n'a pas découvert ce phénomène, c'est à lui, sans doute, que doit appartenir la découverte du moyen qu'il indique de le rendre sensible quand on observe les étoiles avec des télescopes!

Je poussai, dit-il, l'oculaire de ma lunette de manière que les rayons le rencontrassent avant de se réunir au foyer. » Sur l'image dilatée qu'on obtenait ainsi, les changements de couleur s'apercevaient plus commodément.

Voici maintenant ce que je trouve dans le journal de Nicholson, 1813, tome XXXIV, p. 116 :

Quand on a dépassé le foyer d'une lunette, « l'image élargie d'une étoile a un tel degré de vacillation qu'on croirait voir un certain nombre de disques passer successivement les uns devant les autres. Ces disques sont de couleurs différentes, et l'illumination paraît venir de divers côtés. Du bleu, du bleu d'acier, du vert, la teinte du cuivre brillant, du rouge et du blanc sont les couleurs les plus fréquentes. »

Ces couleurs se superposent et doivent conséquemment s'affaiblir ; M. Forster recommande, pour éviter cet effet,

de donner à la lunette un petit mouvement de vibration ; l'étoile devient alors une longue ligne lumineuse dont les diverses parties présentent des couleurs variées et très-vives.

Je suis presque tenté de laisser croire que M. Forster est ici sur son propre terrain. Si je transcris quelques lignes de plus, on n'admettra probablement point le reproche que je faisais à certains auteurs anglais de ne pas se donner la peine de lire les ouvrages de leurs devanciers, et l'on trouvera peut-être plus naturel d'admettre qu'ils ont horreur des citations. Toute réflexion faite, je me résigne à cet inconvénient, et j'emprunte encore le passage suivant au tome XXXIV (année 1813) du journal de Nicholson :

« Après avoir dirigé une petite lunette sur Sirius, dit M. Nicholson, l'oculaire étant à la distance de la vision distincte, je frappai légèrement et à coups redoublés le tube avec les doigts de la main droite ; l'image de l'étoile dansait dans le champ de la vision, et produisait ainsi une ligne lumineuse semblable à la traînée continue que donne un charbon enflammé qui se meut rapidement dans une courbe. A chaque secousse l'étoile décrivait une courbe rentrante, mais si irrégulièrement contournée que jamais deux de ces lignes successives ne coïncidaient entre elles. Je donnais environ dix coups par seconde ; les courbes étaient teintes des plus vives couleurs dans leurs diverses parties : les plus remarquables de ces couleurs étaient le bleu verdâtre, le bleu d'acier, le marron ou couleur de cuivre très-intense ; et il m'a semblé que, terme moyen, chacune d'elles pouvait occuper un tiers

ou un peu moins de l'étendue totale de la courbe. La lumière de Sirius changeait donc distinctement de couleur, avant d'arriver à l'œil, au moins trente fois par seconde. »

M. Nicholson disait, dans son Mémoire, qu'il n'avait trouvé dans aucune propriété connue de l'atmosphère les moyens d'expliquer ces phénomènes; M. Forster « imagine qu'il peut y avoir dans les parties supérieures de l'air une sorte de mouvement ondulatoire, et que les couleurs alternatives résultent de leur pouvoir réfractif; car l'atmosphère, agissant alors comme un prisme imparfait, peut envoyer à l'œil différentes couleurs, suivant les inclinaisons diverses que doit prendre la surface onduleuse. »

Nos deux auteurs, même sur ce dernier point, sont plus d'accord qu'on ne le penserait au premier coup d'œil et leur contradiction n'est qu'apparente; car si, d'une part, M. Nicholson avoue ingénûment que les changements de couleur des étoiles lui paraissent inexplicables, M. Forster fait plus encore, puisqu'il donne une explication complétement inadmissible et qui ne satisfait à aucune des circonstances du phénomène. Qui ne voit, pour me borner à une seule objection, que si l'atmosphère pouvait, par un effet prismatique, amener successivement et séparément à l'œil les rayons de diverses couleurs dont se compose la lumière blanche des étoiles, on apercevrait ces astres dans le champ des lunettes, sous la forme de spectres extrêmement allongés et non pas avec un disque à peu près rond?

Je n'ose espérer, après le peu d'attention que M. Forster a donné aux travaux de ses propres compatriotes,

qu'il consentira à jeter les yeux sur le Mémoire d'un étranger; je l'engagerai toutefois à examiner, dans les nouvelles dissertations qu'il promet, si, comme je l'ai avancé depuis plusieurs années, la scintillation, avec tous les changements d'intensité et de couleur qu'on y a remarqués, ne serait pas simplement un effet de l'interférence des rayons lumineux. Si, enfin, les remarques qui précèdent ne le déterminaient pas à abandonner l'explication qu'il a adoptée, je l'inviterais à essayer de rendre compte, par ses petits prismes atmosphériques, des phénomènes que voici :

Quand on place devant l'objectif d'une lunette astronomique une ouverture circulaire d'un certain diamètre, 27 millimètres, par exemple, les images des étoiles au foyer sont rondes, bien terminées et entourées d'une série d'anneaux lumineux, très-minces et très-serrés. L'éclat de ces anneaux varie incessamment sur les diverses parties de leurs contours; souvent, en quelques points, il y a disparition totale.

Tout restant dans le même état, si l'on enfonce peu à peu l'oculaire, on verra l'image de l'étoile se dilater graduellement, et bientôt une tache noire, ronde, tranchée, un véritable trou obscur se formera dans le centre. La distance du foyer à laquelle on observera cette tache variera avec l'ouverture du diaphragme.

Un nouveau mouvement de l'oculaire dans le même sens, amènera d'abord la dilatation de la tache obscure et ensuite la naissance d'un petit disque lumineux qui en occupera le milieu. L'étoile alors, en allant du centre vers la circonférence, sera ainsi composée : disque lumineux,

large anneau obscur, large anneau lumineux. Dans une troisième position de l'oculaire, plus voisine encore de l'objectif, le centre de l'image sera obscur ; à l'anneau large et brillant qui entourera ce centre succédera un anneau sombre, suivi à son tour d'un anneau lumineux, etc.

Tout le monde savait que par un simple déplacement de l'oculaire d'une lunette, on peut donner à l'image confuse d'une étoile des dimensions de plus en plus considérables ; mais j'ignore si l'on avait remarqué que pendant ce déplacement le centre de l'image devient périodiquement un disque obscur et lumineux, circulaire et bien terminé.

Voici la circonstance par laquelle ce phénomène non-seulement se rattache à celui de la scintillation, mais pourrait même en fournir une espèce de mesure.

Supposons, pour un moment, que l'oculaire de la lunette soit dans une de ces positions où le centre de l'image de l'étoile, encore tout à fait obscur, est près de devenir lumineux. Si l'étoile ne scintille point, la forme de son image reste constante ; quand l'étoile scintille légèrement, un petit point lumineux apparaît de temps en temps au milieu de la tache noire, comme si, dans cet instant, on avait légèrement enfoncé l'oculaire. Lorsque la scintillation est fréquente, les changements de cette espèce sont continuels.

Toutes ces circonstances découlent très-simplement de l'explication du phénomène que j'ai donnée ; il devient alors inutile d'admettre des séparations prismatiques de couleurs ; il suffit de supposer qu'il y a des différences

extrêmement légères entre les densités ou les températures des diverses couches atmosphériques traversées par les rayons qui parviennent à l'œil : or, il faudrait n'avoir jamais réfléchi sur les effets des courants ascendants pour refuser de reconnaître que de telles différences doivent presque toujours exister, surtout à peu de hauteur au-dessus de l'horizon.

Je n'ajoute plus qu'un mot pour terminer : j'ai indiqué le mouvement de l'oculaire vers l'objectif comme un moyen de faire naître successivement au centre de l'image d'une étoile des taches obscures et lumineuses; en éloignant l'oculaire de l'objectif, on observe des phénomènes analogues; mais ils ont moins de netteté et sont compliqués de quelques effets de coloration. M. Brewster avait annoncé, dans son *Traité sur les instruments astronomiques*, que les images circulaires des étoiles ou les sections faites dans les cônes de rayons qui se réunissent au foyer d'une lunette, ne sont jamais aussi distinctes ni aussi bien définies au delà de ce foyer qu'avant le croisement de la lumière; je rappelle les observations du physicien écossais pour faire remarquer qu'elles n'ont aucun rapport avec celles qui précèdent : il parle, en effet, du contour de l'image, et j'ai seulement voulu porter l'attention du lecteur sur les modifications qu'éprouve son centre.

§ 4. — Résumé d'un Mémoire sur la scintillation des étoiles, inséré dans le *Compte-rendu* de la séance de l'Académie du 20 janvier 1840.

Afin d'avoir le droit, suivant les règlements académiques, d'insérer dans le volume de Mémoires actuelle-

ment sous presse le résultat final de ses longues recherches sur le phénomène de la scintillation, M. Arago a soumis aujourd'hui ce résultat à l'appréciation de l'Académie. Dans l'impossibilité d'en donner ici une idée suffisamment complète sans sortir des bornes qui nous sont prescrites, nous nous contenterons de dire que le Mémoire[1] se compose de quatre sections distinctes. Dans la première l'auteur s'attache à prouver que la scintillation des étoiles n'est autre chose qu'un changement apparent d'intensité et de couleur très-fréquent, très-rapide, qui a sa cause dans notre atmosphère. Appuyé sur cette définition M. Arago montre, dans la seconde section, que les explications du phénomène données par Aristote, par Galilée, Scaliger, Kepler, Descartes, Hooke, Huygens, Newton, Michell et par les astronomes modernes, ne sauraient être admises.

Cette longue série de noms célèbres offre une classe à part : celle des observateurs qui déclarèrent avec franchise que la scintillation leur semblait inexplicable. Les noms compris dans cette classe sont ceux de Melville, de Nicholson, et le nom de l'illustre Thomas Young, auteur des premières lois des interférences.

La troisième section du Mémoire est consacrée à l'exposition des expériences de cabinet à l'aide desquelles on établit celles des lois des interférences qui doivent servir à l'explication de la scintillation, soit que ces lois se rattachent à la différence des chemins parcourus par

1. Ce Mémoire a été mis postérieurement par M. Arago sous la forme de Notice scientifique; c'est cette Notice qui est insérée dans le présent volume.

les rayons lumineux, soit que l'on considère seulement l'inégale réfringence des milieux que ces mêmes rayons ont traversés. De ces lois résulte la conséquence que les rayons partant d'une étoile qui, après avoir traversé une atmosphère où il existe des couches inégalement chaudes, inégalement denses, inégalement humides, vont se réunir au foyer d'une lentille, doivent y former des images d'intensités et de couleurs perpétuellement changeantes, c'est-à-dire des images telles que la scintillation nous les présente.

Après avoir montré ainsi la possibilité de rattacher la scintillation aux interférences lumineuses, après avoir donné une explication plausible du phénomène, M. Arago a réuni dans la quatrième et dernière section de son Mémoire, des observations variées sur la scintillation des étoiles hors du foyer des lunettes, sur la scintillation du Soleil, réduit, par sa réflexion à la surface extérieure de miroirs très-courbes, à ne sous-tendre qu'un petit angle, etc. Ces faits paraissent donner à la nouvelle théorie tous les caractères d'une véritable démonstration.

CONSTITUTION PHYSIQUE

DU SOLEIL ET DES ÉTOILES

Notice sur les observations qui ont fait connaître la constitution physique du Soleil et celle de diverses étoiles. — Examen des conjectures des anciens philosophes et des données positives des astronomes modernes sur la place que doit prendre le Soleil parmi le nombre prodigieux d'étoiles dont le firmament est parsemé [1].

Vers le milieu du mois de juillet dernier, des astronomes appartenant aux principaux observatoires de l'Europe se rendirent en Norvége, en Suède, en Allemagne, en Russie, et s'établirent dans des villes où l'éclipse de Soleil du 28 du même mois devait être totale. Ils espéraient que ce phénomène, étudié avec des instruments puissants, conduirait à des explications plausibles de diverses apparences signalées dans les éclipses antérieures, et sur lesquelles personne n'avait osé se prononcer d'une manière définitive. Comment! se sont écriés des esprits chagrins, peu au fait, je dois le supposer, de l'histoire de l'Astronomie; comment! la science qu'on dit la plus parfaite trouve encore des problèmes à ré-

1. La santé de M. Arago ne lui ayant pas permis d'assister à la séance des cinq académies de l'Institut du 25 octobre 1851, M. Laugier a bien voulu se charger de donner lecture de cette Notice. M. Arago prie son jeune confrère d'agréer l'expression de sa vive gratitude.

soudre, même en ce qui concerne l'astre autour duquel tous les mouvements planétaires s'exécutent? est-il vrai qu'à beaucoup d'égards, nous ne soyons pas plus avancés que les philosophes de la Grèce antique?

On a cru que ces questions devaient être prises au sérieux. Je me suis chargé de rédiger la réponse, sans me dissimuler tout ce qu'elle aura d'aride, et sans oublier que des détails devenus aujourd'hui élémentaires viendront forcément se placer sous ma plume; mais j'ai pensé que votre indulgence ne saurait manquer à celui qui remplit un devoir.

Un coup d'œil général sur les travaux des philosophes anciens et des observateurs modernes, nous prouvera d'abord que si l'on a étudié le Soleil depuis deux mille ans, le point de vue a souvent changé, et que, dans cet intervalle, la science a fait d'immenses pas en avant.

Anaxagore prétendait que le Soleil n'était guère plus grand que le Péloponèse.

Eudoxe, qui jouit dans l'antiquité d'une si grande estime, donnait au même astre un diamètre neuf fois plus grand que celui de la Lune. C'était un grand progrès si l'on compare cette évaluation à celle d'Anaxagore. Mais le nombre donné par le philosophe de Cnide s'éloignait encore énormément de la vérité.

Cléomède, qui écrivait sous le règne d'Auguste, dit que les épicuriens, ses contemporains, s'en rapportant aux apparences, soutenaient que le diamètre réel du Soleil ne surpassait pas un pied.

Mettons en regard de ces évaluations arbitraires la détermination qui se déduit des travaux des astronomes

modernes, exécutés avec les soins les plus minutieux, et à l'aide d'instruments d'une délicatesse extrême. Le Soleil a 357,000 lieues (de 4 kilomètres) de diamètre; il y a loin, comme on voit, de ce nombre à celui qu'adoptaient les épicuriens.

En supposant le Soleil sphérique, son volume est égal à quatorze cent mille fois celui de la Terre. Des nombres aussi énormes n'étant pas fréquemment employés dans la vie usuelle, et ne nous donnant pas une idée précise des grandeurs qu'ils impliquent, je rappellerai ici une remarque qui fera mieux sentir l'immensité du volume solaire. Imaginons que le centre du Soleil coïncide avec celui de la Terre, sa surface non-seulement atteindra la région dans laquelle la Lune circule, mais ira presque une fois au delà.

Ces résultats, si remarquables par leur immensité, ont la certitude des principes de géométrie élémentaire qui leur ont servi de base.

La carrière que j'ai à parcourir étant assez étendue, je n'établirai pas en détail la comparaison entre les résultats vraiment absurdes par leur petitesse, auxquels les anciens s'étaient arrêtés sur la distance du Soleil à la Terre, et ceux qu'on a déduits des observations modernes. Je me bornerai même à dire ici qu'il est démontré, et ce n'est pas sans raison que je me sers d'un terme aussi positif, qu'il est démontré, depuis le passage de Vénus observé en 1769, que la distance moyenne du Soleil à la Terre est de 38 millions de lieues, et qu'entre l'hiver et l'été, l'astre s'éloigne de nous de plus d'un million de lieues : telle est la distance du globe immense

dont les astronomes modernes sont parvenus à déterminer la constitution physique. Nous ne trouvons rien à ce sujet dans les anciens philosophes, qui mérite de nous occuper un instant.

Leurs disputes sur la question de savoir si le Soleil est un feu pur ou grossier, un feu éternel ou susceptible de s'éteindre, n'étant appuyées sur aucune observation, laissaient dans la plus profonde obscurité le problème que les modernes ont essayé de résoudre.

Les progrès qu'on a faits dans cette voie datent de 1611. A cette époque peu éloignée de celle de l'invention des lunettes, un astronome hollandais, Fabricius, vit distinctement des taches noires se montrer sur le bord oriental du Soleil, s'avancer graduellement vers le centre, le dépasser, atteindre le bord occidental, puis disparaître pendant un certain nombre de jours.

De ces observations souvent répétées depuis, on a pu déduire la conséquence que le Soleil est un globe sphérique doué sur son centre d'un mouvement de rotation dont la durée est égale à vingt-cinq jours et demi environ.

Ces taches noires, irrégulières et variables, mais bien définies sur leur contour, ont quelquefois des dimensions considérables; on en a vu dont la largeur était plus de cinq fois celle de la Terre : elles sont généralement entourées d'une auréole sensiblement moins lumineuse que le reste de l'astre et qu'on a appelée *pénombre*. Cette pénombre, primitivement remarquée par Galilée, et observée avec soin, dans les changements qu'elle éprouve, par les astronomes ses successeurs, a conduit, sur la consti-

tution physique du Soleil, à une supposition qui, de prime abord, doit paraître bien singulière.

Cet astre serait un corps obscur entouré, à une certaine distance, d'une atmosphère qui pourrait être comparée à l'atmosphère terrestre, lorsque celle-ci est le siége d'une couche continue de nuages opaques et réfléchissants. A cette première atmosphère en succéderait une seconde, lumineuse par elle-même, qu'on a appelée la *photosphère*. Cette photosphère, plus ou moins éloignée de l'atmosphère nuageuse intérieure, déterminerait par son contour les limites visibles de l'astre. Suivant cette hypothèse, il y aurait des taches sur le Soleil toutes les fois qu'il se formerait, dans les deux atmosphères concentriques, des éclaircies correspondantes qui permettraient de voir à nu le corps obscur central.

Les personnes qui ont étudié les phénomènes avec des lunettes puissantes, les astronomes de profession, les juges compétents, reconnaissent que l'hypothèse dont je viens de parler sur la constitution physique du Soleil rend un compte très-satisfaisant des faits. Cependant elle n'est pas généralement adoptée : des ouvrages qui font autorité représentaient naguère les taches comme des scories flottant à la surface liquide de l'astre et sorties de volcans solaires, dont nous ne trouverions qu'une faible image dans les volcans terrestres.

Il était donc désirable qu'on parvînt à déterminer par des observations directes la nature de la matière incandescente du Soleil.

Mais lorsqu'on songe que nous sommes séparés de cet astre par un intervalle de 38 millions de lieues, et que

nous ne pouvons nous mettre en communication avec sa surface visible qu'à l'aide des rayons lumineux qui en émanent, se proposer ce problème semblait être une témérité injustifiable.

Les progrès récents de l'optique ont fourni cependant les moyens de le résoudre complétement. Quelques détails, qu'on me pardonnera, rendront cette solution évidente.

Personne n'ignore aujourd'hui que les physiciens sont parvenus à distinguer deux espèces de lumière : la lumière naturelle et la lumière polarisée. Un rayon de la première de ces deux lumières jouit des mêmes propriétés sur tous les points de son contour; il n'en est pas ainsi de la lumière polarisée. Les différents côtés de ses rayons n'ont pas les mêmes propriétés : ces dissemblances se manifestent dans une foule de phénomènes que je ne puis mentionner ici.

Avant d'aller plus loin, remarquons ce qu'il y a d'étrange dans des expériences qui ont amené légitimement les physiciens à parler des divers côtés d'un rayon de lumière, à distinguer ces côtés les uns des autres; le mot *étrange*, dont je viens de me servir, paraîtra certainement naturel à ceux qui songeront que des milliards de milliards de ces rayons peuvent passer simultanément dans le trou d'une aiguille sans se troubler.

La lumière polarisée a permis d'enrichir les moyens d'investigation des astronomes de quelques instruments curieux dont ils ont déjà tiré un parti avantageux, entre autres de celui qu'on appelle *lunette polariscope* [1].

1. Voir *Astronomie populaire,* t. II, p. 101.

Si vous regardez directement le Soleil avec une de ces lunettes, vous verrez deux images de même intensité et de même nuance, deux images blanches. Supposons maintenant qu'on vise à l'image réfléchie de cet astre sur de l'eau ou sur un miroir de verre. Dans l'acte de la réflexion, les rayons se polarisent ; la lunette ne donne plus alors deux images semblables et blanches, elles sont teintes au contraire des plus vives couleurs sans que les formes aient éprouvé aucune altération. Si l'une est rouge, l'autre sera verte; si la première est jaune, la seconde offrira la teinte violette, et ainsi de suite, les deux teintes étant toujours ce qu'on appelle complémentaires ou susceptibles par leur mélange de former du blanc. Quel que soit le procédé à l'aide duquel on ait polarisé la lumière naturelle, les couleurs se montrent dans les deux images de la lunette polariscope comme lorsqu'on a visé aux rayons réfléchis par l'eau ou le verre.

La lunette polariscope fournit donc un moyen très-simple de distinguer la lumière naturelle de la lumière polarisée.

On a cru pendant longtemps que la lumière, émanant de tout corps incandescent, arrive à l'œil à l'état de lumière naturelle, lorsque dans le trajet elle n'a été ni partiellement réfléchie ni fortement réfractée.

Cette proposition manquait d'exactitude à certains égards. Un membre de l'Académie[1] est parvenu à reconnaître que la lumière qui émane, sous un angle suffisamment petit, de la surface d'un corps solide ou d'un

1. M. Arago.

corps liquide incandescent, lors même qu'elle n'est pas polie, offre des marques évidentes de polarisation; en sorte qu'en pénétrant dans la lunette polariscope elle se décompose en deux faisceaux colorés.

La lumière qui émane d'une substance gazeuse enflammée, d'une substance semblable à celle qui éclaire aujourd'hui nos rues, nos magasins, est toujours, au contraire, à l'état naturel, quel qu'ait été son angle d'émission.

Le procédé mis en usage pour décider si la substance qui rend le Soleil visible est solide, liquide ou gazeuse, ne sera plus qu'une application très-simple des remarques qui précèdent, malgré les difficultés qui paraissaient découler de l'immense distance de l'astre.

Les rayons qui nous font voir les bords du disque sont évidemment sortis de la surface incandescente sous un très-petit angle. Les bords des deux images vus directement que fournit la lunette polariscope paraissent-ils colorés, la lumière de ces bords provient d'un corps liquide ; car toute supposition qui ferait de la surface extérieure du Soleil un corps solide est écartée définitivement par l'observation du rapide changement de forme des taches. Les bords ont-ils conservé dans la lunette leur blancheur naturelle, ils sont nécessairement gazeux[1].

1. Les corps incandescents dont on avait étudié, avec un polariscope, la lumière émise sous différents angles sont les suivants : solides, le fer forgé et le platine ; liquides, la fonte de fer et le verre en fusion. D'après ces expériences, vous avez le droit d'affirmer, dira-t-on, que le Soleil n'est ni de la fonte de fer fondue, ni du verre en fusion ; mais qui vous autorise à généraliser ? Voici ma réponse : Suivant les deux seules explications qu'on ait données de

Les observations faites en regardant directement le Soleil un jour quelconque de l'année, à l'aide de grandes lunettes polariscopes, ne laissent apercevoir aucune trace de coloration. Donc la substance enflammée qui dessine le contour du Soleil est gazeuse. Nous pouvons généraliser la conclusion, puisque les divers points de la surface du Soleil, par l'effet du mouvement de rotation, viennent chacun à leur tour se placer sur le bord.

Cette expérience fait sortir du domaine des simples hypothèses la théorie que nous avons indiquée précédemment sur la constitution de la photosphère solaire. On ne trouve, bien entendu, ni dans les conceptions arbitraires, fruits de l'imagination brillante des anciens

la polarisation anormale que présentent les rayons émis sous des angles aigus, tout doit se passer de même, sauf la quantité, quel que soit le liquide, pourvu que la surface d'émergence ait un pouvoir réfléchissant sensible. Il n'y aurait que le cas dans lequel le corps incandescent serait, quant à sa densité, analogue à un gaz, comme par exemple le liquide, d'une rareté presque idéale, que plusieurs géomètres ont été amenés à placer hypothétiquement aux dernières limites de notre atmosphère où les phénomènes de polarisation et de coloration disparaîtraient peut-être. Je n'ignore pas ce que j'ajouterais de valeur à l'expérience rapportée dans le texte en la discutant au point de vue photométrique. Je possède tous les éléments d'un pareil examen, mais ce n'est pas ici le lieu de les développer.

J'irai cependant au-devant d'une difficulté; je dois faire remarquer que les lumières provenant de deux substances liquides peuvent, suivant la nature spéciale de ces substances, ne pas être identiques sous le rapport du nombre et de la position des bandes obscures de Frauenhofer, que leurs spectres prismatiques offrent aux yeux du physicien.

Ces dissemblances sont de nature à être considérablement augmentées par les atmosphères diversement constituées que les rayons ont traversées avant d'arriver à l'observateur.

(Cette Note n'a pas été lue dans la séance publique du 25 octobre.)

philosophes de la Grèce, ni dans ce qui nous est resté des travaux des plus célèbres astronomes de l'école d'Alexandrie, rien qui puisse, même par une assimilation forcée, être comparé aux résultats que je viens d'énoncer : ces résultats, proclamons-le hautement, sont entièrement dus aux efforts réunis des observateurs du XVII[e] et du XVIII[e] siècle, et aussi, pour une certaine part, à ceux des astronomes nos contemporains.

Consignons ici une remarque dont nous aurons bientôt l'occasion de faire l'application, lorsque nous chercherons à déterminer la constitution physique des étoiles.

Si la matière de la photosphère solaire était liquide, si les rayons émanés de son bord étaient polarisés, on verrait non-seulement des couleurs sur chacune des deux images fournies par la lunette polariscope, mais elles seraient différentes dans les divers points du contour. Le point le plus élevé sur l'une des images est-il rouge, le point diamétralement opposé sur cette même image sera rouge aussi. Mais les deux extrémités du diamètre horizontal offriront l'une et l'autre une teinte verte, etc. Si donc on parvenait à réunir en un point unique les rayons émanés de toutes les parties du limbe du Soleil, même après leur décomposition dans la lunette polariscope, le mélange serait blanc.

La constitution du Soleil, telle que je viens de l'établir, peut également servir à expliquer comment il existe à la surface de l'astre des taches non pas noires, mais lumineuses. Les unes furent appelées *facules;* Galilée les observa le premier; les autres, beaucoup moins étendues, rondes pour la plupart, aperçues par Scheiner,

et qu'il nomma des *lucules*, font que la surface de l'astre paraît pointillée.

Je pourrais, chose singulière, faire remonter la découverte d'une des principales causes des facules et des lucules à une visite administrative dans un magasin de nouveautés, situé sur nos boulevards.

« J'ai à me plaindre de la compagnie du gaz, disait le propriétaire de l'établissement; elle devrait diriger sur mes marchandises la partie la plus large de cette flamme à papillon, et souvent, par la négligence de ses employés, c'est par la tranche qu'on les éclaire. — Êtes-vous bien sûr, répondit un des assistants[1], que dans cette position la flamme éclaire moins que dans la première? » Le doute ayant paru mal fondé, je dirai même, ayant paru absurde, on se livra à des expériences exactes, et il fut constaté qu'une flamme verse sur un objet une égale quantité de lumière quand elle l'éclaire par la tranche et lorsqu'elle se présente à lui par sa plus large surface.

De là résultait la conséquence qu'une surface gazeuse incandescente et d'une étendue déterminée, est plus lumineuse si on la voit obliquement que sous l'incidence perpendiculaire. Par conséquent, si la surface solaire offre des ondulations comme notre atmosphère lorsqu'elle se couvre de nuages pommelés, elle doit paraître comparativement faible dans les parties de ces ondulations qui se présentent perpendiculairement à l'observateur, et plus brillante dans les portions inclinées; toute cavité conique doit nous sembler une lucule. Il n'est donc plus néces-

1. M. Arago.

saire, pour rendre compte des apparences, de supposer qu'il existe sur le Soleil des milliers de foyers plus incandescents que le reste du disque, ou des milliers de points se distinguant des régions voisines par une plus grande accumulation de la matière lumineuse.

Après avoir constaté que le Soleil se compose d'un corps obscur central, d'une atmosphère nuageuse réfléchissante et d'une photosphère, nous devons naturellement nous demander s'il n'y a rien au delà, si la photosphère finit brusquement et sans être entourée d'une atmosphère gazeuse peu lumineuse par elle-même, ou faiblement réfléchissante. Cette troisième atmosphère disparaîtrait ordinairement dans l'océan de lumière dont le Soleil paraît toujours entouré, et qui provient de la réflexion de ses propres rayons sur les particules dont se compose l'atmosphère terrestre.

Un moyen se présentait de lever ce doute, c'était de choisir le moment où, dans une éclipse totale, la Lune couvre complétement le Soleil.

Presque à l'instant où les derniers rayons partis des bords de l'astre radieux disparaissent sous l'écran opaque formé par la Lune, notre atmosphère, dans la région qui se projette sur les deux astres, et les parties environnantes cessent d'être éclairées.

On sait maintenant quel fut l'objet principal que se proposèrent les astronomes qui, en 1842, se rendirent dans le midi de la France, en Italie, en Allemagne, en Russie, où l'éclipse de Soleil du 8 juillet devait être totale.

Dans tous les genres de recherches, la part de l'imprévu est toujours immense ; aussi les observateurs furent

étrangement surpris lorsque, après la disparition des derniers rayons directs du Soleil derrière le bord de la Lune, et celle de la lumière réfléchie par l'atmosphère terrestre environnante, ils virent quelques protubérances rosacées de 2 à 3 minutes de hauteur, s'élancer pour ainsi dire du contour de notre satellite.

Chaque astronome, suivant la pente ordinaire de ses idées, s'arrêta à une opinion particulière sur la cause de ces apparitions. Les uns les attribuèrent à des montagnes de la Lune; cette hypothèse ne supportait pas une minute d'examen. D'autres y voulurent voir des effets de diffraction ou de réfraction. Mais le calcul est la pierre de touche de toutes les théories, et le vague le plus indéfini accompagnait, quant à leurs applications aux phénomènes signalés, celles dont je viens de parler. Des explications qui ne rendent un compte précis, ni de la hauteur, ni de la forme, ni de la couleur, ni de la fixité d'un phénomène, ne doivent pas prendre place dans la science.

Venons à l'idée, fort préconisée un moment, que les protubérances de 1842 étaient des montagnes solaires dont les sommités dépassaient la photosphère couverte par la Lune au moment de l'observation.

D'après les évaluations les plus modérées, la hauteur d'un de ces sommets au-dessus du disque solaire aurait été de 19,000 lieues. Je sais très-bien qu'aucun argument basé sur l'énormité de cette hauteur ne devait conduire à rejeter l'hypothèse. Mais on pouvait l'ébranler fortement en faisant remarquer que ces prétendues montagnes offraient des parties considérables en surplomb,

et qui conséquemment, en vertu de l'attraction solaire, auraient dû s'ébouler.

Jetons un coup d'œil rapide sur une quatrième hypothèse, celle suivant laquelle les protubérances seraient assimilées à des nuages solaires nageant dans une atmosphère gazeuse.

Nous ne trouverions alors aucun principe de physique qui pût nous empêcher d'admettre l'existence de masses nuageuses de 25,000 à 30,000 lieues de long, à contours arrêtés et affectant les formes les plus tourmentées. Seulement, en suivant plus loin l'hypothèse, on aurait le droit de s'étonner qu'aucun nuage solaire n'eût été jamais aperçu entièrement séparé du contour de la Lune.

C'est vers cette constatation, le cas échéant, que devaient être dirigées les recherches des astronomes.

Une montagne ne pouvant se soutenir sans une base, il devait suffire de l'observation fortuite d'une protubérance séparée en apparence du bord de la Lune, et, par conséquent, du bord réel de la photosphère solaire, pour renverser de fond en comble l'hypothèse des montagnes solaires.

Mais, qu'on le remarque bien, il n'en est pas des recherches astronomiques comme de celles des chimistes et des physiciens; ces derniers font varier à volonté les conditions dans lesquelles ils opèrent, et qui peuvent changer la nature des résultats. Les astronomes n'exercent aucune influence sur les phénomènes qu'ils étudient; ils sont obligés d'attendre quelquefois pendant des siècles, que les astres s'offrent à eux dans les positions favorables à la solution d'une difficulté.

Cette fois, les doutes soulevés par les observations de 1842 ont déjà pu être soumis à un nouvel examen expérimental l'année dernière. Une éclipse de Soleil était annoncée pour le 8 août 1850; elle devait être totale aux îles Sandwich.

Le capitaine de vaisseau Bonnard, commandant notre station d'Otahiti, eut l'heureuse pensée d'envoyer le conducteur des ponts et chaussées, M. Kutczycki, de l'île de Taïti à Honolulu, capitale de l'archipel des îles Sandwich.

La relation que nous avons reçue de cet observateur[1] habile renferme la phrase suivante : « Le trait délié et rougeâtre qui se trouvait près de la protubérance nord, a paru complétement détaché du bord de la Lune. »

Postérieurement, dans l'éclipse du 28 juillet 1851, MM. Mauvais et Goujon, établis à Danzig, et des astronomes étrangers très-célèbres, qui s'étaient transportés en divers points de la Norvége, de la Suède et du nord de l'Allemagne, virent, les uns et les autres, dans toutes les stations, une tache également rougeâtre qui se trouvait séparée du limbe de la Lune.

L'observation de M. Kutczycki, et les observations concordantes de 1851, mettent fin sans retour aux explications des protubérances fondées sur la supposition qu'il existerait dans le Soleil des montagnes dont les sommets dépasseraient considérablement la photosphère.

Lorsqu'il sera prouvé rigoureusement que ces phénomènes lumineux ne sauraient être l'effet des inflexions que les rayons solaires éprouveraient en passant près des

1. Voir plus loin la Notice sur les éclipses.

aspérités qui bordent le contour de la Lune; lorsqu'il sera démontré que ces teintes rosacées ne peuvent être assimilées à de simples apparences optiques, et ont une existence réelle, qu'elles sont de véritables nuages solaires, il y aura une nouvelle atmosphère à ajouter aux deux dont nous avons déjà parlé, car des nuages ne pourraient se soutenir dans le vide[1].

Chacun sait maintenant ce qui reste d'incertain sur un point très-particulier de la constitution physique du Soleil. Si l'on songe que les phénomènes qui pouvaient

1. Pour que ces nuages se soutinssent dans le vide, il faudrait que la force centrifuge résultant de leur mouvement circulatoire fût à chaque instant égale à la pesanteur qui tendrait à les faire tomber vers le Soleil. Il faudrait les transformer en de véritables planètes faisant leur révolution autour de cet astre avec une extrême rapidité. Telle est, en substance, l'explication que M. Babinet a donnée des protubérances de 1842, dans la séance de l'Académie des sciences du 16 février 1846.

Le lecteur verra, dans le Mémoire du savant académicien, les considérations ingénieuses sur lesquelles s'appuie cette théorie, et comment elle peut se rattacher au système cosmogonique de Laplace. Je crois, maintenant que le phénomène a été minutieusement observé, que M. Babinet trouvera plus d'une difficulté à concilier l'immense vitesse qu'il est forcé d'attribuer à la matière des protubérances avec l'immobilité relative de celles qui ont été observées en 1851, et le changement de hauteur qu'elles ont offert. Ces difficultés disparaissent lorsque les taches sont assimilées à des nuages flottant dans une atmosphère solaire douée d'un mouvement de rotation peu rapide.

Je ferai, au reste, remarquer que l'existence de cette troisième atmosphère est établie par des phénomènes d'une tout autre nature, par les intensités comparatives du bord et du centre du Soleil, et aussi à quelques égards par la lumière zodiacale, si visible dans nos climats aux époques des équinoxes. Mais la question envisagée de ce point de vue exigerait des détails que je suis forcé de m'interdire.

servir à trancher tous les doutes sont habituellement invisibles; qu'ils ne peuvent être aperçus que pendant les éclipses totales de Soleil; que les éclipses totales de Soleil sont peu nombreuses; que, depuis l'invention des lunettes, les astronomes d'Europe et d'Amérique n'avaient guère eu l'occasion d'en observer convenablement que six; personne n'aura plus le droit de s'étonner qu'au milieu du XIXe siècle, la question soulevée par les flammes rougeâtres mystérieuses dont on a tant parlé soit encore à l'étude.

Après ces éclaircissements, dont vous excuserez la longueur, indiquons en peu de mots par quelle série de mesures et de déductions la science est parvenue à fixer la véritable place du Soleil dans l'ensemble de l'univers.

Archélaüs, qui vivait en 448 avant Jésus-Christ, fut le dernier philosophe de la secte ionienne; il disait du Soleil : C'est une étoile, seulement cette étoile surpasse en grandeur toutes les autres. La conjecture, car ce qui ne repose sur aucune mesure, sur aucune expérience, ne mérite pas une autre qualification, était certainement très-hardie et très-belle. Franchissons un intervalle de plus de deux mille ans, et nous trouverons les rapports du Soleil et des étoiles établis par les travaux des modernes, sur des bases qui défient toute critique.

Depuis près d'un siècle et demi, les astronomes cherchaient à déterminer la distance des étoiles à la Terre; les insuccès répétés semblaient prouver que le problème était insoluble. Mais quels sont les obstacles dont le génie uni à la persévérance ne parvienne à triompher ! Nous connaissons depuis très-peu d'années la distance qui nous

sépare des étoiles les plus voisines. Cette distance est d'environ 206,000 fois la distance du Soleil à la Terre, plus de 206,000 fois 38 millions de lieues. Le produit de 206,000 par 38 millions serait trop en dehors des nombres que nous avons l'habitude de considérer pour qu'il soit utile de l'énoncer.

Ce produit frappera davantage l'imagination si je le rapporte à la vitesse de la lumière. Alpha de la constellation du Centaure est l'étoile la plus voisine de la Terre, si toutefois il est permis de parler de voisinage lorsqu'il s'agit des distances que je vais rapporter.

La lumière d'alpha du Centaure emploie plus de trois ans à nous parvenir, en sorte que si l'étoile venait à être anéantie, nous la verrions encore trois ans après sa destruction. Qu'on se rappelle que la lumière parcourt 77,000 lieues (308,000 kilomètres) par seconde, que le jour se compose de 86,400 secondes, l'année de 365 jours, et l'on restera comme atterré devant l'immensité de ces nombres. Munis de ces données, transportons le Soleil à la distance de cette étoile la plus voisine de toutes, et ce disque circulaire si vaste, qui le matin s'élève peu à peu et majestueusement au-dessus de l'horizon, qui le soir emploie un temps considérable à descendre tout entier au-dessous de ce même plan, n'aura plus que des dimensions insensibles, même dans les plus fortes lunettes, et son éclat le rangera parmi les étoiles de troisième grandeur. Vous voyez, messieurs, ce qu'est devenue la conjecture d'Archélaüs.

On se sentira peut-être humilié d'un résultat qui réduit à si peu de chose notre place dans le monde matériel;

mais qu'on y songe, l'homme y est parvenu en tirant tout de son propre fonds; par là il s'est élevé au rang le plus éminent dans le monde des idées. Les investigations astronomiques seraient donc très-propres à faire excuser de notre part un peu de vanité.

Que ne m'est-il permis de suivre les astronomes modernes dans leur pérégrination immortelle à travers la multitude de soleils qui brillent au firmament!

Nous les verrions d'abord fixer, à l'aide de leurs instruments, les positions relatives de ces astres, en cataloguer une centaine de mille; on sait que Pline l'ancien s'étonnait qu'Hipparque eût essayé d'en observer 1,026 et qu'il comparait ce travail à celui d'un dieu.

Nous remarquerions dans des ouvrages récents des recensements complets qui nous montreraient que le nombre des étoiles visibles à l'œil nu dans un seul hémisphère, l'hémisphère boréal, est inférieur à 3,000. Résultat certain et qui cependant frappera d'étonnement par sa petitesse, les personnes qui ont examiné vaguement le ciel dans de belles nuits d'hiver.

Cet étonnement changerait de nature si nous passions aux étoiles télescopiques. En faisant cette fois porter le dénombrement jusqu'aux étoiles de quatorzième grandeur, les dernières qu'on aperçoive dans nos plus puissantes lunettes, nous trouverions, par une évaluation qui ne fournirait qu'une limite en moins, un nombre supérieur à 40 millions (40 millions de soleils!), et la distance des plus éloignées d'entre elles serait telle, que la lumière aurait besoin de trois à quatre mille ans pour la parcourir.

Nous serions donc amplement autorisés à dire que les rayons lumineux, ces courriers si rapides, nous apportent, s'il est permis de s'exprimer ainsi, l'histoire très-ancienne de ces mondes éloignés.

Une expérience photométrique dont les premières indications existent dans le *Cosmotheoros* de Huygens, expérience reprise par Wollaston peu de temps avant sa mort, nous apprendrait qu'il faudrait réunir 20,000 millions d'étoiles semblables à Sirius, la plus brillante du firmament, pour que leur agglomération répandît sur notre globe une lumière égale à celle du Soleil.

Guidé par le génie perçant de William Herschel, nous examinerions les étoiles qui se touchent presque, et le grand astronome nous prouverait que ces astres, en quelque sorte accouplés, ne paraissent pas voisins les uns des autres, seulement par un effet de perspective, mais qu'ils sont dans une dépendance mutuelle et circulent autour de leur centre commun de gravité dans des temps d'assez courte durée, qui déjà ont pu être déterminés dans certains cas.

En observant que ces étoiles doubles sont de couleurs très-dissemblables, nos pensées se porteraient naturellement sur les habitants des corps planétaires obscurs et tournant sur eux-mêmes, qui, suivant toute apparence, circulent autour de ces soleils, et nous remarquerions, non sans une anxiété réelle pour les œuvres des peintres de ces mondes éloignés, qu'à un jour éclairé d'une lumière rouge succède, non pas la nuit, mais un jour également éclatant, éclairé seulement par une lumière verte.

La comparaison des positions des étoiles déterminées

à différentes époques nous prouverait qu'elles sont très-improprement appelées des fixes, qu'elles se meuvent dans l'espace en divers sens, de manière qu'à la longue, la forme des constellations actuelles sera complétement changée, que les vitesses absolues de ces astres sont inégales, qu'une de celles qu'on a pu obtenir, avec une entière certitude, est de 20 lieues par seconde, que le Soleil, semblable en cela à toutes les autres étoiles, n'est pas immobile et entraîne avec lui le cortége de planètes dont il est entouré.

Nous serions frappés de l'inégale répartition des étoiles dans la sphère céleste. Là, nous en verrions plus de 20,000 dans un espace superficiel égal à la dixième partie de la surface apparente de la Lune ; ici, dans une surface de même étendue, pas un seul point lumineux ne serait perceptible, même avec les meilleures lunettes.

Après avoir jeté un coup d'œil attentif sur la matière lumineuse disséminée dans des espaces immenses, et qui, par son agglomération continuée pendant des siècles, semble devoir donner naissance à des étoiles nouvelles, nous discuterions les idées grandioses de Wright, de Kant, de Lambert et de William Herschel, sur la constitution de la Voie lactée, sur ses dimensions. Enfin, quelques pas de plus dans l'astronomie conjecturale, c'est-à-dire dans cette branche de la science fondée seulement sur d'imposantes probabilités et des généralisations naturelles, nous dévoileraient des phénomènes qui, par leur nature, ou l'énormité des nombres qui les mesurent, jetteraient les esprits les plus fermes dans une sorte de vertige.

Mais abandonnons ces spéculations, si dignes d'admiration qu'elles soient, pour rentrer dans la question principale que je me suis proposé de traiter dans cette Notice, pour essayer, si cela est possible, d'établir quelque connexité entre la nature physique des étoiles et celle de notre Soleil.

Nous avons réussi, à l'aide de la lunette polariscope, à déterminer la nature de la substance dont se compose la photosphère solaire, parce que, à raison du grand diamètre apparent de l'astre, il a été possible d'observer séparément les divers points de son contour. Si le Soleil s'éloignait de nous jusqu'à la distance où son diamètre apparent serait inappréciable comme l'est celui des étoiles, la méthode deviendrait inapplicable. Les rayons colorés, provenant des divers points du contour, se trouveraient alors intimement mêlés, et nous avons déjà dit plus haut que leur ensemble produirait du blanc.

Il paraît donc qu'il faut renoncer à appliquer à des astres sans dimensions sensibles le procédé qui nous a si bien conduits au but quand il s'agissait du Soleil ; il est cependant quelques-uns de ces astres qui se prêtent à ces moyens d'investigation, je veux parler des étoiles changeantes.

Les astronomes ont remarqué des étoiles dont l'éclat varie considérablement ; il en est qui passent, dans un très-petit nombre d'heures, de la deuxième à la quatrième grandeur ; il en est d'autres chez lesquelles le changement d'intensité est beaucoup plus tranché. Ces étoiles, très-apparentes à certaines époques, disparaissent ensuite totalement pour reparaître de nouveau dans des périodes

plus ou moins longues et sujettes à quelques légères irrégularités.

Deux explications de ces curieux phénomènes se présentent à l'esprit : l'une consiste à supposer que l'astre n'est pas également lumineux dans tous les points de sa surface, et qu'il éprouve un mouvement de rotation sur lui-même ; alors il est brillant quand sa partie lumineuse est tournée du côté de la Terre, et sombre lorsque la partie obscure arrive à la même position.

Dans l'autre hypothèse, un satellite opaque et non lumineux par lui-même, circulant autour de l'étoile, l'éclipserait périodiquement.

En raisonnant suivant l'une ou l'autre de ces deux suppositions, la lumière qui nous éclaire quelque temps avant la disparition ou avant la réapparition de l'astre, n'est pas partie de tous les points du contour ; il ne peut donc plus être question de la neutralisation complète des teintes dont nous parlions tout à l'heure.

Si une étoile changeante, examinée avec la lunette polariscope, reste parfaitement blanche dans toutes ses phases, on peut assurer que sa lumière émane d'une substance analogue à nos nuages ou à nos gaz enflammés.

Or, tel est le résultat du petit nombre d'observations qu'on a pu faire jusqu'ici, et qu'il sera très-utile de compléter. Ce même moyen d'investigation exige plus de soin, mais réussit également lorsqu'on l'applique aux étoiles qui n'éprouvent qu'une variation partielle dans leur éclat.

La conséquence à laquelle ces observations nous conduisent, et que nous pouvons, je crois, généraliser sans

scrupule, peut être énoncée en ces termes : Notre Soleil est une étoile, et sa constitution physique est identique avec celle des millions de soleils dont le firmament est parsemé.

Je me suis efforcé, dans le cadre qui m'était assigné d'avance, de tracer l'esquisse de tout ce que nous savons aujourd'hui relativement au volume, à la distance et à la constitution physique du globe immense qui nous éclaire. Cette esquisse, dans ses bornes circonscrites, suffira pour détromper les personnes qui avaient cru devoir mettre en question l'importance et la certitude des résultats obtenus par les observateurs modernes. Elles reconnaîtront, si elles étaient de bonne foi, que, dans l'histoire du progrès de nos connaissances, progrès qui sera sans doute indéfini, les travaux des astronomes du XIXe siècle ne passeront pas inaperçus. Quant à des critiques qui n'auraient point été inspirées par l'amour de la vérité, elles ne mériteraient pas de fixer un instant l'attention de cette assemblée, et je pense que je pourrais moi-même les dédaigner.

NOTICE SUR LES ÉCLIPSES

ET PARTICULIÈREMENT SUR L'ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL DU 8 JUILLET 1842

CHAPITRE PREMIER

AVANT-PROPOS

Quelque temps avant l'éclipse totale de Soleil du 8 juillet 1842, je publiai dans le *Compte rendu des séances de l'Académie des sciences*, l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, et les *Annales de chimie et de physique*, une Notice dans laquelle je signalais les circonstances de cette future conjonction du Soleil et de la Lune, qui, selon moi, devaient plus particulièrement fixer l'attention des astronomes. J'énumérai aussi les principaux problèmes de physique céleste dont la solution est liée aux observations et aux mesures qui peuvent être faites seulement pendant les éclipses solaires. Plus tard, en 1846, je mis en regard de chacun des articles du programme que j'avais tracé, les éclaircissements que les observations avaient fournis. Je donnai en outre l'énoncé de diverses questions imprévues que l'admirable phénomène de 1842 avait soulevées. Dans le monde intellectuel, comme dans le mode physique, on ne saurait faire un pas sans découvrir un nouvel horizon. L'éclipse totale du 28 juillet 1851 donna

lieu à de nouvelles observations qui ont étendu nos connaissances sur la constitution de l'astre radieux, foyer des mouvements de notre système planétaire. J'ai résumé l'ensemble des faits acquis à la science dans le livre de mon *Astronomie populaire* consacré aux éclipses et aux occultations[1]. Je vais placer ici tous les détails qui ne pouvaient prendre place dans un traité didactique. J'ai conservé ma rédaction primitive ; les seuls passages que, dans mes anciennes Notices, j'avais empruntés à divers chapitres de l'*Astronomie populaire*, ayant été remis à leur place, ne seront pas reproduits dans la Notice actuelle.

CHAPITRE II

DÉFINITIONS

Les éclipses de Soleil n'arrivent que le jour de la nouvelle Lune. C'est ce jour seulement que notre satellite peut s'interposer entre la Terre et le Soleil, et nous cacher des portions plus ou moins considérables de ce globe immense et radieux.

Quand, au plus fort d'une éclipse, la Lune ne semble empiéter que sur une portion limitée du disque solaire, on dit que l'*éclipse est partielle ;*

Quand, au plus fort d'une éclipse, la Lune nous dérobe la vue de la totalité du Soleil, l'*éclipse est totale ;*

Enfin, lorsque pendant la durée d'une éclipse il arrive un moment où la Lune se projette en entier sur le Soleil

1. Livre XXII, t. III, p. 537 à 624.

sans le couvrir; où elle nous cache la portion centrale et laisse à découvert les régions voisines du limbe; où elle apparaît comme un disque noir entouré d'un anneau lumineux, l'*éclipse est annulaire*[1].

La Lune et le Soleil n'étant pas à une égale distance de la Terre, des observateurs diversement placés ne projettent pas les disques des deux astres sur les mêmes points du ciel. Voilà comment il arrive qu'une éclipse est totale en certains lieux, et seulement partielle dans d'autres; voilà comment Paris, par exemple, n'a vu quelquefois aucune trace de telle éclipse partielle de Soleil qui a été apparente à Toulouse, et réciproquement.

Pour qu'une éclipse puisse être totale, il faut qu'au moment du phénomène les lignes visuelles menées aux deux extrémités d'un diamètre de la Lune comprennent un angle plus grand que les deux lignes visuelles menées aux deux extrémités d'un diamètre du Soleil; il faut (en prenant les expressions techniques) que le diamètre angulaire de la Lune l'emporte sur le diamètre angulaire du Soleil. Or, ni le diamètre angulaire de la Lune, ni le diamètre angulaire du Soleil ne sont constants, car ils dépendent des distances, et les distances des deux astres à la Terre varient beaucoup. Ces diamètres angulaires

1. Il est bon d'observer qu'en certaines occasions très-rares, une éclipse peut être totale dans un lieu et annulaire dans un autre. Cela arrive lorsque les diamètres apparents du Soleil et de la Lune sont presque égaux. La Lune ne se trouvant pas à la même distance de tous les points de la surface terrestre, et les différences étant dans des rapports appréciables avec la distance absolue, les uns voient la Lune plus grande que le Soleil et les autres plus petite. Le même effet peut résulter d'un rapide mouvement de la Lune vers l'apogée ou le périgée.

se surpassent même alternativement l'un l'autre. Si le moment où la Lune devient nouvelle coïncide avec le moment où son diamètre angulaire est au minimum, ce qui met l'astre à son apogée, aucune circonstance de projection ne pourra donner lieu qu'à une éclipse de Soleil annulaire. Si, au contraire, dans le moment de la conjonction, le diamètre angulaire de la Lune est au maximum (ceci revient à dire que l'astre est alors à son périgée ou à sa moindre distance à la Terre), des circonstances favorables de projection amèneront une éclipse totale.

Ces notions composent tout ce que j'avais besoin de rappeler pour qu'on ne demande pas pourquoi une éclipse est totale, tandis que, au maximum, une autre éclipse est annulaire; pourquoi une éclipse est totale dans le midi de la France, par exemple, et seulement partielle à Paris.

A l'aide des tables du Soleil et de la Lune on peut déterminer d'avance avec précision combien il y aura d'éclipses durant une certaine année et quels seront leurs caractères. C'est ainsi qu'avant l'éclipse de 1842, je pus publier le tableau des principales circonstances numériques de l'éclipse que l'on attendait alors, tel que l'avait dressé mon confrère M. Largeteau, et la figure représentant la trace de l'ombre portée par la Lune sur la Terre.

Afin de montrer quelle est l'approximation que nos tables permettent d'apporter maintenant à ces sortes de calculs, je reproduis ici et ce tableau et cette figure (fig. 3).



Fig. 3 — Trace de l'ombre de la Lune sur la surface de la Terre pendant l'éclipse totale de Soleil du 8 juillet 1842.

On peut répondre aujourd'hui de fractions de minutes dans la prédiction de ces phénomènes. Il n'en était pas de même dans les premières années du XVIIIe siècle. Alors on voyait, en effet, le commencement ou la fin d'une éclipse différer, en temps, de dix à douze minutes du résultat calculé sur les tables de La Hire.

Prédiction des principales circonstances de l'éclipse totale de Soleil visible dans le midi de la France, dans la matinée du 8 juillet 1842.

	Lever du Soleil.		Commencement de l'éclipse.			Commencement de l'éclipse totale.			Fin de l'éclipse totale.			Fin de l'éclipse.			Plus courte distance des centres.
	h.	m.	h.	m.	s.	h.	m.	s.	h.	m.	s.	h.	m.	s.	
Perpignan..	4	31	4	53	21	5	46	14	5	48	28	6	45	47	1″.8
Montpellier.	4	28	4	57	53	5	51	20	5	53	12	6	51	6	21 .5
Marseille...	4	29	5	3	4	5	56	50	5	58	50	6	57	12	18 .5
Digne.....	4	26	5	7	12	6	1	8	6	3	28	7	2	3	1 .4

Les dates ci-dessus sont exprimées en temps moyen compté de minuit et à partir du méridien inférieur de chacune des villes correspondantes. Si l'on voulait exprimer ces mêmes dates en temps vrai, il faudrait retrancher $4^m\ 34^s$ des époques contenues dans le précédent tableau.

La première impression du disque lunaire était indiquée comme devant avoir lieu à l'occident et à 41° de l'extrémité supérieure du diamètre vertical du Soleil.

CHAPITRE III

DE LA COURONNE LUMINEUSE DONT LA LUNE EST ENTOURÉE PENDANT UNE ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL

Il n'existe pas de relation moderne quelque peu détaillée d'une éclipse totale, dans laquelle il ne soit fait mention d'une couronne lumineuse dont la Lune paraissait entourée après la disparition entière du Soleil, et qui contribuait à tempérer l'obscurité.

Je ne sais si cette couronne ne fut pas la cause de la clarté crépusculaire que signalent les relations de l'éclipse totale de 98. Plutarque disait : « La Lune laisse déborder autour d'elle, dans les éclipses, une partie du Soleil, ce qui diminue l'obscurité. » Ces derniers mots portent à penser qu'il parlait alors plutôt des éclipses totales que des éclipses annulaires, pendant lesquelles il n'y a réellement qu'un affaiblissement de lumière.

Des observateurs inhabiles avaient classé l'éclipse de 1567 parmi les éclipses annulaires, par la raison que la Lune, au plus fort du phénomène, parut entourée d'un anneau lumineux. Kepler en fit une éclipse totale. L'anneau lumineux, suivant l'illustre astronome, pouvait s'expliquer de deux manières : ou en admettant que l'éther était enflammé dans le voisinage du Soleil, ou en supposant que certains rayons partis des bords du grand globe, arrivaient à la Terre après avoir subi une réfraction dans l'air de la Lune.

Kepler développa ces idées à l'occasion de l'auréole remarquée à Torgau pendant l'éclipse totale de 1598

L'éclipse de 1605 fut certainement totale à Naples pendant quelques instants. La Lune s'y montra, toutefois, comme un nuage noir entouré d'une auréole resplendissante qui occupait une grande partie du ciel.

Jusqu'à présent nous n'avons découvert dans les anciens ouvrages, que des relations imparfaites et sans précision de l'auréole lunaire. Les éclipses de 1706, 1715, 1724, 1778, 1806, 1842, 1851 ont fourni des observations plus exactes que j'ai résumées dans l'*Astronomie populaire*. Je donnerai plus loin en détail les résultats complets constatés en 1842, et le lecteur verra combien il reste encore à faire aux observateurs futurs.

CHAPITRE IV

DE CERTAINES IRRÉGULARITÉS QUI SE MANIFESTENT AU MOMENT OU LES BORDS DE LA LUNE SE TROUVENT INTÉRIEUREMENT A DE PETITES DISTANCES DES BORDS DU SOLEIL

Au moment où le bord occidental de la Lune commence à se détacher intérieurement du bord occidental du Soleil, il paraît dentelé comme une scie. Les dents augmentent incontinent de grandeur et d'espacement, et leur nombre diminue. Bientôt les deux limbes ne paraissent plus réunis que par quelques traits rectilignes (8 à 10), larges, parallèles, complétement noirs et parfaitement définis. Tous ces traits, enfin, disparaissent subitement. Les choses se passent comme s'il existait entre les limbes des deux astres une matière glutineuse noirâtre, adhérente à certains points du Soleil, et que le mou-

vement de la Lune étirerait jusqu'à la rupture instantanée des ligaments.

Pendant le mouvement du bord oriental de la Lune vers le bord oriental du Soleil, les phénomènes se reproduisent en sens inverse : les lignes noires et parallèles naissent les premières et subitement ; la forme de grande scie succède à ces lignes ; enfin, avant l'entière occultation du Soleil, le limbe de la Lune est comme un chapelet composé de grains irréguliers, noirs et lumineux.

Ces diverses irrégularités noirâtres avaient été aperçues plus ou moins distinctement par d'anciens astronomes. M. Baily les a nettement observées en Écosse pendant l'éclipse annulaire du 15 mai 1836, et il en a donné une description détaillée et intéressante dans le tome x des *Mémoires de la Société astronomique de Londres.*

Comme si ces phénomènes n'étaient pas déjà assez extraordinaires, un observateur américain a annoncé que la dentelure, que les traits rectilignes et parallèles qui joignent les deux limbes, ne se voient pas quand on fait usage de verres verts, et qu'ils sont, au contraire, très-apparents à travers des verres rouges. L'auteur anonyme cite plusieurs circonstances et plusieurs villes où, suivant lui, le fait aurait été constaté.

CHAPITRE V

DES LUEURS OBSERVÉES SUR LA SURFACE DE LA LUNE PENDANT CERTAINES ÉCLIPSES TOTALES DE SOLEIL

Louville rapporte que pendant la durée de l'obscurité totale, en 1715, il vit, à Londres, sur la surface de la

Lune, des fulminations semblables à celles qui résulteraient de l'inflammation d'une traînée de poudre. Ces fulminations étaient instantanées et serpentantes, comme les éclairs terrestres ; elles se montraient tantôt dans un endroit, tantôt dans un autre, mais surtout vers le bord oriental.

Halley remarqua aussi des lueurs, des éclairs dans tous les sens, mais particulièrement vers le bord occidental, et quelque temps avant l'émersion.

Un autre astronome, dont le nom m'est inconnu, adressa à la Société royale de Londres une représentation graphique de l'éclipse de 1715, dans laquelle les éclairs se prolongeaient jusqu'au centre de la Lune.

En 1724, les astronomes de Paris, parfaitement avertis par les Mémoires de Louville et de Halley, ne parvinrent cependant à découvrir à la surface de notre satellite aucune sorte de lumière.

En 1778, Ulloa, Aranda et Wintuisen virent sur la Lune, dans la région du nord-ouest, une minute et un quart avant la réapparition du Soleil, un point lumineux qui brilla successivement comme les étoiles de quatrième, de troisième et de seconde grandeur.

Enfin, en 1806, Ferrer n'aperçut aucune lumière à la surface de la Lune. Le télescope, dans un certain moment, lui montra seulement une colonne déliée de fumée qui sortait de la région occidentale de l'astre.

CHAPITRE VI

RÉFLEXIONS ET RECOMMANDATIONS SOUMISES AUX OBSERVATEURS DES FUTURES ÉCLIPSES

La couronne lumineuse annulaire doit par-dessus tout fixer l'attention des observateurs.

Cette couronne est-elle centrée sur la Lune ou sur le Soleil? A cet égard, les relations sont contradictoires. Halley, Louville, trouvèrent que le centre de la couronne coïncidait avec celui de la Lune. Suivant Maraldi et Ferrer, au contraire, le centre de la couronne serait toujours celui du Soleil.

Si la première de ces opinions est exacte, le cercle lumineux qui déborde le corps obscur de la Lune ne sera plus l'atmosphère solaire, et il faudra chercher des preuves de l'existence de cette atmosphère dans d'autres phénomènes. Établissons la vérité de l'assertion, afin de montrer combien la question est capitale.

Si l'atmosphère du Soleil existe, il est probable qu'elle a la même largeur en tout sens. Il est particulièrement indubitable que dans les régions solaires équatoriales, à l'est et à l'ouest par exemple du disque apparent, cette atmosphère s'étendra de quantités égales au-dessus des parties condensées et vivement lumineuses de l'astre.

Ceci convenu, donnons à la Lune un diamètre angulaire supérieur à celui du Soleil (ce qui est de vérité nécessaire le jour d'une éclipse totale), et voyons-la se mouvoir dans l'espace, de l'occident à l'orient.

Le bord oriental de notre satellite atteint extérieure-

ment le bord occidental du Soleil; l'éclipse proprement dite commence. Après un temps assez long, le même bord oriental de la Lune atteint intérieurement, c'est-à-dire par sa portion concave, le bord oriental du Soleil : c'est le commencement de l'éclipse totale. A ce moment le bord occidental de la Lune déborde le bord occidental du Soleil d'une quantité égale à la différence des diamètres apparents des deux astres. Ainsi, à l'instant même où l'éclipse totale commence, la Lune nous dérobe à l'occident la vue d'une portion de l'atmosphère solaire, tandis qu'elle ne nous cache absolument rien à l'orient. Le contraire a lieu quand l'éclipse totale finit. Il faudra donc, au commencement et à la fin de l'obscurité totale, mesurer, à l'orient et à l'occident, et aussi dans les autres directions, la largeur de la couronne lumineuse.

Ces mesures pourront se faire avec des instruments à réflexion; avec des lunettes prismatiques de Rochon ; avec des lunettes de grossissements modérés, portant au foyer un certain nombre de fils fixes, espacés de minute en minute. Chacun de ces moyens d'observation pourra avoir ses avantages, suivant l'éclat de la couronne, suivant la netteté de son contour extérieur.

Est-il vrai, comme le dit Ulloa, que la couronne se montre cinq ou six secondes seulement après le commencement de l'éclipse totale, et qu'elle disparaisse quatre ou cinq secondes avant la fin de l'obscurité? Cette double assertion exige d'autant plus d'être vérifiée, que Halley déclare avoir aperçu le phénomène avant l'entière disparition du Soleil.

Est-il vrai, comme Halley l'a reconnu en 1715, qu'en

plein air l'auréole lumineuse lunaire ne forme pas d'ombre?

La couronne a offert des couleurs à Halley, à Louville, à Ulloa. Cela doit faire supposer qu'elle est un phénomène de diffraction. Il sera donc important de caractériser nettement toute la série de couleurs visibles, et d'en déterminer l'étendue angulaire. Ces mesures, comparées à celles qu'on obtiendra en faisant naître, comme De l'Isle, de l'Académie des sciences, une couronne artificielle autour d'un globe opaque se projetant sur le Soleil et le débordant un peu, deviendront la pierre de touche qui dissipera tous les doutes.

La couronne offre-t-elle des interruptions, des rayons divergents qui la fassent ressembler aux gloires des saints? Il sera très-utile de noter si le phénomène est régulier. Dans le cas contraire, et c'est le plus probable, il faudra voir où les rayons aboutissent sur le limbe de la Lune; il faudra rechercher, autant que possible, si les points de départ de ces rayons correspondent à des vallées ou à des montagnes lunaires.

La lumière de la couronne lumineuse lunaire offre-t-elle des traces de polarisation? Il sera bon de s'assurer du fait à l'aide d'un polariscope.

Après les observations destinées à décider si la couronne lumineuse lunaire est ou n'est pas centrée sur le Soleil, rien ne sera plus utile que d'étudier le mode d'apparition de la dentelure qu'offre la Lune aux époques des attouchements intérieurs des deux disques; la manière dont les dents se confondent, changent de grandeur, de forme, et s'évanouissent. Aujourd'hui on ne sait rien de précis sur le nombre de secondes qui sépare la naissance

du chapelet de la disparition des traits noirs parallèles. Ces données de l'expérience ne suffiront peut-être pas pour faire découvrir la cause physique de phénomènes aussi singuliers; mais il est évident que cette cause, fût-elle trouvée, serait tenue pour incertaine tant qu'elle n'aurait pas subi l'épreuve des vérifications numériques dont je demande qu'on recueille soigneusement les éléments.

Les lumières serpentantes observées à la surface de la Lune, en 1715, par Louville et Halley; ces lumières que l'académicien de Paris considérait comme des éclairs provenant de plusieurs orages qui éclataient au moment de l'éclipse en divers points de l'atmosphère de notre satellite, pourraient, ce me semble, être expliquées autrement.

Le Soleil est plus gros que la Lune, et il en éclaire toujours plus de la moitié. Au moment même de l'éclipse centrale, des rayons solaires pénètrent donc dans l'hémisphère tourné vers la Terre. Ne serait-il pas possible que ces rayons arrivassent jusqu'à la portion de la Lune que nous apercevons, nous fussent renvoyés après des réflexions plus ou moins multiples opérées sur des flancs de montagnes volcaniques lunaires, et donnassent ainsi à la lumière une apparence trompeuse de mobilité? Voilà pour les éclairs voisins des bords. Les éclairs du centre tiennent peut-être à une cause différente. Les rayons solaires se réfléchissent à peu près régulièrement sur les nappes liquides terrestres. Si en dehors de la région plongée dans l'ombre de l'éclipse, une de ces nappes, d'une étendue bornée, est disposée de manière que les rayons qu'elle réfléchit atteignent la Lune, ces rayons y

opéreront un éclairement partiel; ils tomberont successivement sur divers points, à cause du mouvement de rotation de la Terre. N'est-ce pas là le caractère essentiel du phénomène? Je ne sais s'il ne serait pas possible de soutenir également que les éclairs de Halley, de Louville, étaient dans l'atmosphère terrestre. S'emparer, pendant ces apparitions lumineuses, des circonstances qui pourraient permettre de choisir entre ces trois hypothèses, tel doit être le but principal des observateurs. Il est évident, par exemple, que la troisième de ces explications serait à jamais éliminée, si dans des lieux de la Terre un peu éloignés l'un de l'autre, tels que Perpignan et Digne, on avait vu les lueurs apparaître vers les mêmes régions.

Il faudra jeter un coup d'œil attentif sur la partie nord-ouest de la Lune. Ulloa la croyait percée d'outre en outre. Il imaginait que le point lumineux observé en 1778 était une très-petite portion du Soleil vue à travers une étroite ouverture. Lalande calcula que pour satisfaire à toutes les circonstances de l'observation de l'amiral espagnol, l'ouverture devait se trouver à quinze lieues de la tangente au bord de la Lune passant par la Terre, résultat d'où il concluait ensuite qu'elle avait cent neuf lieues de longueur. Ce ne serait donc que par un concours de circonstances extrêmement rares, que par des mouvements de libration très-particuliers, qu'un si long trou serait, un certain jour, dirigé exactement vers un lieu donné. Le peu de probabilité d'une pareille rencontre ne devra pas empêcher, je le répète, de regarder un instant avec attention le bord nord-ouest de notre satellite.

Il va sans dire qu'en chaque lieu on cherchera à déter-

miner le nombre et la grandeur des étoiles qui deviendront visibles à l'œil nu pendant l'obscurité totale.

L'impossibilité, jusqu'ici parfaitement constatée, d'apercevoir les taches de la Lune à l'aide de la lumière que la Terre leur envoie pendant les éclipses totales de Soleil, est une sorte de définition intrinsèque de la clarté répandue dans notre atmosphère aux moments les plus sombres de ces éclipses. Cette définition n'est pas à dédaigner. Il ne sera pas difficile, en effet, d'y appliquer des nombres. Chercher à entrevoir les taches avec les lunettes qui les montrent ordinairement le mieux dans la lumière cendrée, je veux dire avec les lunettes de nuit, ne sera pas une recherche sans utilité.

Si la très-courte durée de l'obscurité totale n'y mettait obstacle, on trouverait certainement des résultats curieux en dirigeant successivement un polarimètre sur toutes les régions atmosphériques voisines du cône d'ombre. Mais tant d'observations ne sauraient être faites en 2 à 3 minutes ; il faudra se borner aux plus importantes.

La légère coloration que l'atmosphère et les objets terrestres éprouvent au moment où une grande partie du Soleil est cachée, semble impliquer qu'alors il nous arrive, avec une quantité de lumière blanche, quelques rayons élémentaires (rouges, orangés et jaunes), isolés, séparés des autres. Cette décomposition de la lumière blanche peut s'opérer par voie de diffraction sur le bord de la Lune, et, dans ce cas, le limbe de l'astre observé directement doit paraître irisé. Ces iris existent-ils toujours? ne commencent-ils à être sensibles et à produire une coloration appréciable sur la Terre qu'au moment où leur

largeur est dans un certain rapport avec celle du segment du Soleil resté visible et blanc? C'est ce qu'il faudra décider. L'emploi de verres colorés devra donc être totalement proscrit dans les observations d'éclipses totales. Il sera indispensable que les astronomes aient recours aux combinaisons de verres qui laissent au Soleil toute sa blancheur naturelle.

Si, absorbés par d'autres soins, les astronomes abandonnent à des amateurs l'observation de la coloration des objets terrestres et de l'atmosphère, ils devront les tenir en garde contre les effets des contrastes. Il sera nécessaire qu'on soit bien averti que la présence de quelque lumière artificielle pourrait communiquer aux objets éclairés directement par l'auréole luminaire, et secondairement par l'atmosphère, des colorations sans réalité. A une époque où l'on semble prendre à tâche d'oublier qu'un objet blanc peut paraître coloré, par opposition; devenir vert, par exemple, à raison du voisinage d'une lumière rouge intense, de pareilles recommandations ne sauraient être inutiles.

Pendant une éclipse, la Lune se projette en noir sur le Soleil et dans sa vraie forme. La région du Soleil restée visible est donc toujours limitée par deux portions de circonférence de cercle. Dans les points où ils se rencontrent, ces deux arcs, l'un obscur, l'autre lumineux, forment des angles curvilignes qu'on appelle *les cornes*. A certains moments, les cornes peuvent devenir très-aiguës, très-effilées.

Les rayons lumineux, provenant du Soleil, qui dessinent en clair le sommet même des cornes et les parties

environnantes, ont rasé la surface de la Lune pour arriver à la Terre. Si la Lune est entourée d'une atmosphère sensible, ces rayons auront été déviés ; la forme circulaire du Soleil s'en trouvera altérée ; les cornes offriront des inflexions, des irrégularités locales sur lesquelles il sera très-utile que les observateurs portent leur attention.

Ce n'est pas seulement par l'observation des cornes qu'on peut espérer d'arriver à quelques notions plus ou moins précises touchant l'atmosphère de la Lune. Les gaz, les vapeurs arrêtent toujours une portion de la lumière qui les traverse. Si notre satellite a une atmosphère, la grande tache noire qu'il forme en se projetant sur le Soleil doit être entourée parallèlement d'une sorte de pénombre, je veux dire d'une zone étroite correspondant à cette atmosphère. Dans toute l'étendue de la zone en question, la lumière solaire sera un peu affaiblie. On n'a pas assez profité, pour constater cet affaiblissement, des facules allongées dont la surface du Soleil est parsemée. Les facules allongées ont ordinairement un éclat uniforme dans toute leur étendue. Le bord de la Lune se promène-t-il transversalement le long d'une d'entre elles, rien ne sera plus facile que de décider si la partie voisine du disque noir a la même intensité que le reste. La moindre distorsion provenant d'une réfraction dans l'atmosphère de la Lune deviendrait également visible de cette manière. En un mot, l'observation de certaines facules me semble devoir être recommandée de préférence à celle des noyaux des grandes taches, quoiqu'en général les astronomes s'en soient peu occupés.

Halley rapporte qu'en 1715 le segment oriental du

Soleil qui resta le dernier visible, pouvait être impunément regardé dans la lunette sans verre coloré, et qu'il n'en fut pas ainsi, à la fin de l'éclipse, du segment occidental qui reparut le premier.

Pour expliquer ce phénomène, le grand observateur se montra disposé, comme de raison, à faire jouer à l'œil le principal rôle. Ainsi il reconnaissait qu'à la fin de l'éclipse, la pupille, plus dilatée qu'au commencement, devait donner passage à plus de lumière; mais une seconde cause lui semblait avoir dû influer. « La partie orientale de la Lune, disait-il, venant d'être échauffée pendant une période égale à près de quinze de nos jours, ne pouvait manquer d'avoir eu son atmosphère remplie des vapeurs qu'une si longue action solaire avait dû élever. D'après les conditions physiques de cette atmosphère orientale, elle devait donc affaiblir sensiblement l'éclat des rayons solaires qui la traversaient. Le bord occidental venait, au contraire, d'éprouver une nuit de même durée (d'une quinzaine de jours), pendant laquelle les vapeurs soulevées dans la période précédente s'étaient précipitées. Les rayons qui traversaient cette seconde région atmosphérique plus pure, plus transparente, devaient être très-vifs. »

Ceux qui croiraient encore ces conjectures dignes de vérification, trouveraient aisément, ce me semble, les moyens de sortir de l'incertitude qu'éprouvait Halley. Pour mettre de côté toute influence de l'ouverture de la pupille, ils n'auraient qu'à adapter à leur lunette un grossissement tellement puissant que la largeur du faisceau parallèle sortant de l'oculaire, fût inférieure au dia-

mètre que conserve la pupille dans ses plus fortes réductions. Les effets de l'éblouissement, de la fatigue, seraient éliminés à leur tour, en consacrant à l'observation de l'immersion et de l'émersion du Soleil, l'œil constamment couvert qui n'aurait pas servi à l'étude des autres phases. Il résulte, en effet, si j'ai bonne mémoire, de diverses expériences de Du Fay, que l'éblouissement d'un œil ne se communique pas à l'autre.

Supposons le Soleil entouré d'une atmosphère. Les rayons qui nous viendront des bords de l'astre auront traversé cette atmosphère dans une plus grande épaisseur que les rayons émanant du centre. Il n'est donc pas certain que les deux espèces de rayons soient parfaitement identiques. Par exemple, les bandes de Frauenhofer pourraient y démontrer des dissemblances provenant des absorptions inégales que les faisceaux lumineux auraient subies en traversant des épaisseurs diverses de l'atmosphère solaire. L'expérience a été faite avec un résultat négatif pendant l'éclipse annulaire de 1836. Je ne propose pas de la renouveler. Il est inutile de consacrer la très-courte durée d'une éclipse à des observations qui peuvent être faites tous les jours de l'année.

On a souvent espéré pouvoir décider, d'après la marche du thermomètre pendant la durée d'une éclipse, si toutes les parties du Soleil sont également lumineuses. Ce genre d'observation ne doit pas toujours prendre le temps des astronomes : le Soleil peut être trop bas en France pour qu'on puisse espérer que la marche du thermomètre ait une grande régularité. D'ailleurs les intensités comparatives, thermométriques ou photométriques, des di-

vers points du disque solaire peuvent être établies directement. Pendant l'éclipse du 15 mai 1836, on a suivi à Paris la marche de deux thermomètres, l'un blanc, l'autre noir, et qui avaient été exposés au Soleil dans deux globes vides d'air. On n'a pu en tirer aucune conclusion certaine sur les effets calorifiques comparatifs des rayons qui partent des bords et du centre du Soleil. Des vapeurs et même des nuages ont été, pendant la durée de l'éclipse, une source de perturbation évidente et dont il serait impossible de faire la part exacte.

Sénèque nous apprend que Posidonius vit une comète au moment d'une éclipse totale de Soleil. On a rapporté l'observation à l'année 462 avant notre ère. Cette année il y eut, en effet, à Athènes, une éclipse totale.

L'an 418 après J.-C., du temps de l'empereur Théodose, on aperçut aussi, dit-on, une comète pendant une éclipse totale de Soleil.

Je ferai donc une chose toute naturelle en recommandant aux observateurs des futures éclipses, de s'entourer de personnes qui, pendant la durée de l'obscurité totale, chercheront si quelque comète ne serait pas sur l'horizon.

CHAPITRE VII

HEURES DU COMMENCEMENT ET DE LA FIN DE L'ÉCLIPSE; HEURES DU COMMENCEMENT ET DE LA FIN DE L'OBSCURITÉ TOTALE

Les annonces insérées dans les Éphémérides, les annonces qui fixaient, ainsi que nous l'avons vu (chapitre II, p. 141), en heures, minutes et secondes, le com-

mencement et la fin de l'éclipse du 8 juillet 1842, le commencement de l'obscurité totale, la durée de cette obscurité, ne se sont guère accordées avec l'observation que dans les limites d'une trentaine à une quarantaine de secondes. Ces différences ont indiqué une correction à faire aux Tables de la Lune, au demi-diamètre de cet astre et à celui du Soleil. Partout, en effet, la discordance s'est manifestée dans le même sens; je me trompe, on pourrait, à toute rigueur, citer une exception : elle serait fournie par les observations de Narbonne.

Les amateurs zélés qui s'étaient réunis dans cette ville ont imprimé que le disque de la Lune échancra celui du Soleil à l'instant prévu, et confirma ainsi l'infaillible exactitude des prédictions astronomiques.

Rien de plus catégorique que ces paroles; mais on aurait dû nous apprendre à qui avait été empruntée, pour la station de Narbonne, la prédiction du commencement de l'éclipse, car cette ville ne figure pas dans le tableau de M. Largeteau. Il n'eût pas été moins nécessaire d'indiquer les méthodes à l'aide desquelles les chronomètres de Narbonne furent réglés la veille et le jour du phénomène. Des télescopes, des lunettes, des polariscopes (ce sont les seuls instruments mentionnés dans le Mémoire que j'ai sous les yeux), ne peuvent pas servir à déterminer l'heure. L'anomalie offerte par les observations de Narbonne ne saurait donc infirmer les résultats trouvés partout ailleurs.

Les observations de Perpignan ont été faites à la citadelle, sur la terrasse du commandant, en un point de la courtine bornant extérieurement cette terrasse, dont la

latitude, déterminée à l'aide d'un théodolite-répétiteur de M. Gambey, est de 42° 41′ 43″.

La longitude de ce même point, d'après une opération géodésique aboutissant à la tour Saint-Jacques, une des stations de la grande triangulation de la France, est, par rapport au méridien de Paris, de $0^h\,2^m\,14^s.3$ à l'orient.

La marche des chronomètres avait été déduite de hauteurs absolues de plusieurs étoiles et du Soleil, observées à l'aide d'un théodolite-répétiteur de M. Gambey.

La lunette de M. Laugier avait 93 millimètres d'ouverture; le grossissement était de cinquante-cinq fois.

La lunette de M. Mauvais avait 156 millimètres d'ouverture; le grossissement était de cent vingt fois.

Celle dont je me servais avait 91 millimètres d'ouverture; le grossissement était de cinquante-six fois.

Voici nos résultats :

Commencement de l'éclipse.

	Temps moyen de Perpignan.
Arago	$4^h\,54^m\,8^s$
Laugier	4 54 9
Mauvais	4 54 8

Commencement de l'éclipse totale.

Arago	$5^h\,46^m\,51^s.4$
Laugier	46 51 .4
Mauvais	46 51 .9

Fin de l'obscurité totale.

Mauvais	$5^h\,49^m\,2^s.5$

Fin de l'éclipse.

Arago........................	6h 46m 16s.6
Laugier........................	46 15 .6
Mauvais........................	46 15 .6

J'ai réuni, dans le tableau suivant, les résultats des observations faites dans les principales stations de l'Europe, exprimés en temps moyen du lieu, compté de minuit.

Commencement de l'éclipse.	Commencement de l'éclipse totale.	Fin de l'obscurité totale.	Fin de l'éclipse.
Observatoire de Marseille. — M. Valz.			
5h 3m 50s [1]	5h 57m 30s	5h 59m 29s	6h 57m 49s [2]
Toulon. — M. le capitaine Bérard.			
5h 7m 54s [3]	6h 0m 32s	6h 1m 22s	7h 0m 0s
Observatoire de Milan. — M. Carlini et d'autres observateurs. Résultats moyens.			
5h 20m 38s.2	6h 15m 31s.4	6h 17m 45s.8	7h 17m 20s.5
Observatoire de Vienne. — M. Schumacher.			
5h 51m 51s.9	6h 49m 24s.9	6h 51m 21s.9	7h 53m 55s.9
Observatoire de Padoue. — M. Santini.			
5h 30m 24s.3	6h 26m 46s.3	6h 28m 19s.3	7h 29m 19s.3

1. Présumé en retard de 4 à 5 secondes à cause des ondulations.

2. Présumée en avance de 2 à 3 secondes à cause des ondulations.

3. M. Bérard estime que l'impression était déjà faite depuis 2 secondes. Le nombre qu'il a donné serait donc trop fort de cette quantité.

Commencement de l'éclipse.	Commencement de l'éclipse totale.	Fin de l'éclipse totale.	Fin de l'éclipse.
Observatoire de Padoue. — M. Conti.			
5h 30m 48s.3	6h 26m 54s.3	6h 28m 19s.3	7h 29m 26s.8
Observatoire de la marine à Venise. — MM. Wüllerstorf et Wisiak (moyenne).			
5h 32m 36s.9	6h 29m 25s.3	6h 30m 8s.7	7h 32m 47s.3

Lipesk. { Longitude est de Paris. 2h 29m 1s ; Latitude nord......... 52° 36′ 43″ } MM. O. Struve et Schidlofsky.

	8h 42m 1s.6	8h 45m 6s.5	9h 55m 9s.3

En discutant les observations faites à Vienne (en Autriche) et dans quelques villes d'Italie, M. Carlini a trouvé 16′ 20″.4 pour la constante du demi-diamètre de la Lune corespondant à 60′ de parallaxe équatoriale, tandis que les Tables de Burckhardt donnent 16′ 21″.0; il a, au contraire, augmenté de 1″.36 le demi-diamètre du Soleil qui paraissait le mieux déterminé. Ce diamètre, pour la distance moyenne de la Terre, était, suivant M. Encke, de 15′ 58″.42; M. Carlini, d'après les circonstances de l'éclipse, le porte à 15′ 59″.78.

Il sera utile de répéter les calculs de l'astronome de Milan en faisant usage de l'ensemble des observations. Les éclipses totales et les éclipses annulaires, offrant quatre contacts des limbes des deux astres, deux intérieurs et deux extérieurs, conduisent à des résultats qu'on ne saurait déduire des éclipses partielles.

Pour montrer le grand nombre d'observations de précision que l'on peut faire pendant une éclipse et pour indiquer quelle concordance on peut attendre des résultats fournis par divers astronomes observant dans un même lieu,

je reproduirai ici le tableau détaillé des observations faites à Paris durant l'éclipse du 15 mai 1836. Pendant cette éclipse, les cornes du croissant ont été toujours remarquablement aiguës, et l'on n'a pas aperçu le moindre décroissement de lumière dans le voisinage du disque lunaire.

La lunette dont je me suis servi en 1836 avait 155 millimètres d'ouverture ; le grossissement était de 80 fois.

La lunette de M. A. Bouvard avait 68 millimètres d'ouverture ; le grossissement était de 60 fois.

M. Mathieu a employé un équatorial ayant 97 millimètres d'ouverture; le grossissement était de 120 fois.

La lunette de M. Savary avait 97 millimètres d'ouverture ; le grossissement était de 70 fois.

La lunette de M. E. Bouvard avait 194 millimètres d'ouverture ; le grossissement était de 120 fois.

La lunette de M. Laugier avait 88 millimètres d'ouverture ; le grossissement était de 60 fois.

La lunette de M. Plantamour avait 131 millimètres d'ouverture; le grossissement était de 130 fois.

MM. Mauvais et le capitaine Basil Hall s'étaient aussi associés à nos observations.

Voici les résultats obtenus :

Commencement de l'éclipse.

	Temps moyen de Paris.
Arago	$2^h\ 6^m\ 7^s.5$
A. Bouvard	2 6 9 .8
Mathieu	2 6 12 .6
Savary	2 6 10 .6
E. Bouvard	2 6 1 .8
Laugier	2 6 16 .8 [1]

1. Observation en retard de quelques secondes.

	Temps moyen de Paris.
Plantamour....................	2h 6m 8s.5
Basil Hall......................	2 6 10 .3

Contact du bord de la Lune avec le centre d'une tache.

Savary........................	2h 7m 18s.4
Plantamour....................	2 7 8 .8

Contact du bord de la Lune avec une tache noire.

	Premier bord de la tache.	Centre de la tache.	Deuxième bord de la tache.
Arago.........	2h 19m 42s.0	2h 19m 55s.0	2h 20m 8s.0
A. Bouvard....	//	2 19 56 .8	//
Savary........	2 19 43 .3	2 19 56 .3	//
E. Bouvard. ...	2 19 41 .8	2 19 53 .8	2 20 6 .8
Laugier........	2 19 41 .8	2 19 53 .8	//
Plantamour....	2 19 41 .8	//	2 20 1 .8
Mauvais.	2 19 42 .8	2 19 54 .8	2 20 7 .8
Basil Hall.	//	2 19 52 .8	//

Contact du bord de la Lune avec une tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
A. Bouvard....	//	2h 44m 0s.8	//
Mauvais........	2 43 46 .8	2 44 5 .8	2 44 24 .8
Basil Hall......	2 43 46 .8	//	//

Autre tache.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
M. Savary. ...	//	2h 48m 28s.7	//
E. Bouvard....	2h 48m 18s.8	2 48 24 .8	2h 48m 32s.8
Laugier.......	//	2 48 26 .8	//
Plantamour. ..	//	2 48 21 .8	//
Mauvais.......	2 48 13 .8	2 48 22 .8	2 48 31 .8

Autre tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
A. Bouvard....	//	2h 50m 19s.8	//
E. Bouvard....	2 50 0 .8	2 50 14 .8	2 50 23 .8
Laugier.......	2 49 58 .8	2 50 12 .8	//
Plantamour. ..	2 49 56 .8	//	2 50 24 .8
Mauvais.	2 50 0 .8	2 50 13 .8	2 50 25 .8
Basil Hall.....	2 50 1 .1	//	2 50 27 .8

Autre tache.

	Premier bord de la tache.	Centre de la tache.	Deuxième bord de la tache.
Arago........	2h 50m 46s.5	"	2h 51m 27s.5
A. Bouvard....	"	2 51 7 .8	"
Savary........	"	2 51 11 .3	2 51 36 .2
E. Bouvard....	2 50 47 .8	2 51 6 .8	2 51 26 .8
Laugier.......	"	"	2 51 26 .8
Plantamour. ..	2 50 45 .8	"	2 51 27 .8
Mauvais.......	2 50 46 .8	2 51 6 .8	2 51 26 .8

Autre tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
Arago........	"	2h 58m 55s.7	"
Mathieu.......	"	"	2 58 56 .9
Savary........	2 58 48 .9	2 58 51 .9	2 58 55 .9
E. Bouvard....	2 58 45 .8	2 58 51 .8	2 58 56 .8
Laugier.......	"	2 58 52 .8	"
Plantamour. ..	"	2 58 54 .8	"
Mauvais.......	"	2 58 52 .8	"
Basil Hall.	"	2 58 54 .5	"

Autre tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
Arago...........	"	3h 0m 50s.2	"
Mathieu.........	3 0 39 .6	"	3 0 54 .6
Savary...........	3 0 38 .6	"	3 0 55 .5
E. Bouvard.......	3 0 37 .8	3 0 45 .8	3 0 52 .8
Laugier..........	"	3 0 48 .8	"
Plantamour.......	"	3 0 48 .8	"
Mauvais..........	"	3 0 47 .8	"
Basil Hall.	"	3 0 50 .0	"

Autre tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
Arago...........	3h 6m 54s.1	"	3h 7m 13s.7
Mathieu..........	3 6 50 .6	"	3 7 1 .6
Savary...........	"	3 6 55 .7	"
E. Bouvard.......	3 6 51 .8	"	3 7 10 .8

	Premier bord de la tache.	Centre de la tache.	Deuxième bord de la tache.
Laugier..........	3h 6m 55s.8	"	3h 7m 10s.8
Plantamour......	"	"	3 7 6 .8
Mauvais..........	3 6 52 .8	"	3 7 11 .8
Basil Hall........	3 6 53 .8	"	"

Autre tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
E. Bouvard....	3h 10m 18s.8	"	3h 10m 26s.8
Laugier.......	"	3 10 24 .8	"
Plantamour...	"	3 10 24 .8	"
Mauvais.......	"	3 10 23 .8	"
Basil Hall.....	"	3 10 24 .8	"

Dernière tache noire.

	Premier bord.	Centre.	Deuxième bord.
Arago........	"	3h 44m 33s.4	"
E. Bouvard...	3 44 18 .4	3 44 29 .4	3 44 41 .4
Laugier.......	"	3 44 35 .4	"
Plantamour...	"	3 44 36 .4	"
Basil Hall.....	"	3 44 38 .8	"

Fin de l'éclipse.

Arago......................	4h 52m 21s.1
Mathieu....................	4 52 21 .4
Savary.....................	4 52 21 .4
E. Bouvard.................	4 52 22 .8
Laugier....................	4 52 16 .8
Plantamour.................	4 52 20 .8
Mauvais....................	4 52 21 .8
Basil Hall.................	4 52 21 .5

CHAPITRE VIII

INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE ATMOSPHÉRIQUE

La clarté que reflète l'atmosphère pendant les éclipses totales semble devoir être assez bien caractérisée, quant à son intensité, par la grandeur des étoiles qu'elle per-

met d'apercevoir à l'œil nu. Dans un chapitre de l'*Astronomie populaire*[1] se trouvent réunis les faits constatés de cette manière à diverses époques. Voyons ce que les observations de 1842 nous ont appris de particulier sur l'intensité de la lumière qui continua à éclairer la bande terrestre à laquelle le Soleil fut entièrement caché par la Lune.

Les curieux qui, le 8 juillet 1842, à Perpignan, purent donner une attention suffisante à la recherche des étoiles, en aperçurent quatre à cinq à l'œil nu. Au bord de la mer, quelques personnes en virent sept, d'autres dix. D'après les positions indiquées, il ne paraît pas que Mars ait été un des astres visibles.

MM. Pinaud et Boisgiraud parlent de quatre à cinq étoiles aperçues à Narbonne, pendant l'éclipse totale, vers le zénith et du côté du couchant. Divers observateurs assurèrent en avoir compté jusqu'à dix.

Les personnes de Montpellier à qui M. l'abbé Peytal demanda combien elles avaient aperçu d'étoiles, répondirent que le nombre de ces astres visibles à l'œil nu ne s'éleva pas au delà de cinq.

A Digne, M. Dien vit à l'œil nu, la Chèvre, β et ζ du Taureau, γ d'Orion. Des vapeurs couvraient une grande partie du ciel.

M. Piola, à Lodi, aperçut pendant l'obscurité totale : Mars, deux étoiles des Gémeaux, Aldebaran, la Chèvre, d'autres étoiles de première grandeur (on ne dit pas lesquelles).

1. Liv. XXII, chap. X, t. III, p. 574.

M. Majocchi rapporte qu'à Novare, on ne vit, pendant l'obscurité totale, que Mars, la Chèvre et Aldebaran.

L'observateur de Venise ne cite, parmi les étoiles qui furent visibles dans cette ville, que la Chèvre et Aldebaran. Il eût certainement mieux valu citer les plus faibles.

A Lodi, M. Piola lisait des caractères de moyenne grandeur quand le livre se trouvait incliné de manière à être éclairé par la lumière rougeâtre provenant de l'horizon. Là où l'horizon était caché par des édifices, l'obscurité devait évidemment paraître beaucoup plus grande.

Sur les lagunes de Venise, les voyageurs du bateau à vapeur notèrent, pendant l'éclipse totale, que la colonne de fumée sortant de la cheminée n'était plus visible. Les parcelles de charbon enflammées que la colonne entraîne toujours avec elle, semblaient ainsi isolées et produisaient un très-bel effet.

Je crois devoir classer les mouvements de certaines plantes, pendant la durée de l'éclipse totale, parmi les phénomènes qui pourraient permettre de remonter à une évaluation assez approchée de l'intensité qu'avait alors la lumière atmosphérique.

A Prades (Pyrénées-Orientales), M. Cauder, pharmacien, remarqua que les feuilles du *Julibrissin*, qui étaient déjà ouvertes quand l'éclipse commença, se fermèrent pendant l'obscurité totale.

Le professeur Perego a vu des *Convolvulus* se fermer; les mimoses restèrent ouvertes. Des observations de

même nature, mais dont je ne connais pas les détails, ont été faites à Parme.

A Venise, dans le Jardin de Botanique, les jardiniers en chef, M. Ruchinger et son fils, examinèrent, avec une attention soutenue, pendant la durée de l'obscurité totale, les plantes diverses qui se montrent sensibles à la privation de lumière et à tout changement dans l'état hygrométrique de l'atmosphère ; aucun effet appréciable ne se manifesta.

Hâtons-nous d'ajouter qu'à Venise la durée de l'obscurité ne fut pas même d'une minute.

A Vienne, un *Colutea sutherlandia frutescens* avait fermé ses feuilles (on n'aperçut aucun changement sur les mimoses).

Supposons maintenant que le 8 juillet, sur les six heures du matin, on cherchât, à Prades, à Milan et à Vienne, d'après des procédés bien connus des physiciens, quel affaiblissement il faudrait faire subir à la lumière atmosphérique, pour que les feuilles de *Julibrissin*, pour que des *Convolvulus*, pour que les feuilles de *Colutea* se fermassent dans l'intervalle de deux minutes, le même affaiblissement laissant les feuilles des mimoses ouvertes, et l'on serait arrivé à une donnée photométrique importante. Dans l'état actuel des choses, l'expérience ne mérite guère d'être tentée. En effet, eu égard aux murs, aux maisons, aux arbres, aux obstacles de toute nature qui pouvaient, le 8 juillet 1842, être des écrans pour les plantes de Prades, de Milan et de Vienne, on ignore quelle fraction de l'étendue totale de l'atmosphère éclairait ces végétaux. On sera plus prévoyant une autre fois.

CHAPITRE IX

DE LA LUMIÈRE CENDRÉE PENDANT LES ÉCLIPSES TOTALES DE SOLEIL

La lumière dite cendrée, la lumière provenant de la réflexion des rayons envoyés d'abord du Soleil à la Terre, ensuite de la Terre à la Lune, et finalement de la Lune à la Terre, est à son maximum le jour de la conjonction des deux astres. Le rapport de la lumière cendrée à la lumière de la pleine Lune peut être déterminé expérimentalement. La photométrie fournit aussi les moyens de trouver le rapport de la lumière de la pleine Lune à la lumière du Soleil. Une simple division conduit ensuite au rapport numérique qui existe entre l'éclat maximum de la lumière cendrée et l'éclat du Soleil. Si donc on avait pu, le 8 juillet 1842, pendant l'éclipse totale, déterminer le rapport de la lumière cendrée à la lumière atmosphérique, on aurait immédiatement obtenu le rapport de cette dernière lumière à la lumière solaire.

Le 8 juillet 1842, la lumière cendrée fut complétement effacée par la lumière atmosphérique. Malgré tous nos soins, nous ne parvînmes pas à distinguer une seule des taches de la Lune; or, c'était sur l'observation des taches que reposait la mesure projetée.

Wassenius avait été plus heureux que nous. Pendant l'éclipse totale de 1733, il vit, à Gothebourg, « les principales taches lunaires ». Cependant, la lunette de 21 pieds de l'astronome suédois était certainement moins puissante que celles dont nous faisions usage. Si l'on admettait

que la lumière cendrée a toujours le même éclat, il découlerait des observations comparées de 1733 et de 1842 la conséquence que la lumière atmosphérique, pendant les éclipses totales, peut être très-variable.

M. Piola rapporte qu'ayant voulu, le 8 juillet 1842, conserver à ses yeux toute leur sensibilité, il eut la précaution de les tenir fermés quelques instants avant l'éclipse totale, ce qui lui permit, quand cette phase fut arrivée, de distinguer la lumière cendrée de la Lune.

Cette observation n'est pas décrite, ce me semble, avec des détails suffisants. M. Piola a-t-il voulu dire que le disque de la Lune ne paraissait pas parfaitement obscur? Cela ne pouvait manquer d'arriver, car l'atmosphère à travers laquelle on apercevait ce disque, reflétait de la lumière. Si M. Piola distingua les taches lunaires, il eût été utile de l'annoncer nettement, en termes qui ne prêtassent à aucune équivoque.

CHAPITRE X

MARCHE DU THERMOMÈTRE PENDANT LES ÉCLIPSES

La marche du thermomètre, pendant les progrès de l'éclipse de 1842, parut singulière à ceux qui ne remarquèrent pas que deux causes variables et diamétralement contraires agissaient simultanément sur l'instrument. Le Soleil, en tant qu'il s'élevait graduellement au-dessus de l'horizon, avait un pouvoir échauffant de plus en plus fort. D'autre part, ce pouvoir diminuait à mesure que la Lune, par son interposition, cachait une portion

de plus en plus étendue de l'astre lumineux. C'était donc la différence de ces deux effets que le thermomètre accusait. Après la fin de l'éclipse totale, le Soleil continuant à monter et la portion visible de son disque devenant sans cesse plus étendue, l'augmentation de chaleur et de lumière provenait de deux causes concordantes. Cette double remarque devra toujours diriger ceux qui voudront discuter en détail les observations photométriques et thermométriques faites pendant les éclipses solaires.

Quoique je n'ignorasse pas que des observations thermométriques ou photométriques isolées ne pourraient guère conduire à des résultats généraux ; quoique une longue expérience m'eût appris qu'il faut procéder par voie de moyennes quand on veut interpréter utilement les phénomènes qui se passent dans un milieu aussi variable que l'atmosphère terrestre, je m'étais muni, en 1842, des instruments les plus propres à mesurer la chaleur et la lumière. Nous avions, à Perpignan, une riche collection de thermomètres et de photomètres dont la marche fut suivie pendant toute la durée de l'éclipse, grâce à la complaisance de MM. Massot, docteur en médecine; Farines, pharmacien ; Julia, capitaine d'artillerie. J'ai aussi des remerciements à adresser à don Lorenzo Prezas y Puig, et à don Louis Balaguer, qui étaient venus de Barcelone se joindre à nous.

Je ne puis avoir la pensée de donner ici les nombreuses colonnes de chiffres dans lesquelles les résultats de ce travail se trouvent consignés. Je me contenterai de remarquer que le changement thermométrique, conséquence de l'éclipse, que le mouvement rétrograde du

thermomètre se trouva moins considérable que l'impression de froid sur les mains et sur la figure ne l'aurait fait supposer. Cette variation à l'ombre, sur des thermomètres librement suspendus dans l'air, ne dépassa pas, à Perpignan, 3 degrés centigrades.

Quant aux thermomètres exposés au Soleil, la variation, comme de raison, fut beaucoup plus grande. Un de ces instruments, à boule noire, contenu dans un globe de verre fermé et vide d'air, descendit, entre $5^h\ 10^m$ et $5^h\ 48^m$, de 8°.7 centigrades. Un thermomètre semblable, mais à boule vitreuse ordinaire, descendit, entre $5^h\ 6^m$ et $5^h\ 48^m$, de 5°.5 centigrades.

A Milan, la descente du thermomètre ordinaire fut de 3°.4 centigrades.

A Venise, de 3°.1.

A la campagne, près de Perpignan, il y eut, après l'obscurité totale, une forte rosée. Elle tombait des feuilles par gouttelettes.

CHAPITRE XI

COULEUR APPARENTE DU CIEL, ASPECT DES OBJETS, DANS LES MOMENTS QUI PRÉCÉDÈRENT ET DANS CEUX QUI SUIVIRENT LE MOMENT DE L'ÉCLIPSE TOTALE DE 1842

A Perpignan, M. Jaubert de Passa, correspondant de l'Académie des sciences, nota, pendant l'éclipse totale, qu'il y avait à l'horizon, sur la mer, une large bande de couleur rouge orangé.

MM. Pinaud et Boisgiraud remarquèrent, à Narbonne, qu'à mesure que l'éclipse faisait des progrès, l'obscurité

avait un caractère particulier : « C'était, disent-ils, une teinte livide et blafarde, une nuance d'un gris olivâtre qui jetait sur la nature comme un voile de deuil. »

A Montpellier, M. le professeur Lordat, de l'École de médecine, s'était spécialement chargé, à la prière de M. Petit, des observations relatives aux changements de coloration. Ces changements commencèrent à se manifester à partir de $5^h\,48^m$. Les objets parurent d'abord légèrement jaunâtres; le jour devint blafard et livide; dans certaines positions, les figures humaines avaient un aspect cadavéreux.

Je lis dans la relation de M. Lenthéric, professeur de mathématiques transcendantes à la Faculté des sciences de Montpellier :

« Un peu avant le commencement de l'éclipse totale, la teinte de la lumière était devenue livide et cendrée, et donnait à la figure des personnes un aspect qui provoquait un sentiment pénible. »

M. d'Hombres-Firmas s'exprime en ces termes :

« Quand les trois quarts du Soleil ont été couverts, les fleurs, les étoffes rougeâtres, les figures surtout ont paru plus pâles et ont même pris une teinte olivâtre. »

A Digne, M. Beau qui, à la demande de M. Eugène Bouvard, suivit avec beaucoup de soin les changements de coloration de la lumière solaire, de l'atmosphère et de l'air des vallées, a donné une description détaillée de ces phénomènes. Malheureusement le Soleil, pendant une partie de la matinée du 8 juillet, resta couvert de vapeurs assez épaisses qui laissaient passer seulement les rayons rouges.

Plus tard, les vapeurs s'étant dissipées, la lumière solaire reprit sa teinte blanche ordinaire. A $5^h\ 44^m$, elle tourna au jaune, puis à l'orangé; enfin, peu de minutes avant l'immersion complète, les derniers rayons étaient rougeâtres.

« L'obscurité complète, dit M. Beau, était couleur lie de vin. C'est l'expression qui rend le moins imparfaitement la coloration singulière et uniforme dans laquelle tous les objets semblaient enveloppés; mais en regardant de près un groupe de personnes qui entouraient M. Bouvard, leurs figures me parurent blêmes et comme verdâtres; on aurait dit quelque chose d'analogue à la couleur spéciale que prennent les figures éclairées par la flamme de l'esprit-de-vin dans lequel on a mis du sel commun. Quant à M. Bouvard, que je regardai plus particulièrement, il était, littéralement, vert olive. C'est une impression que j'aurai toujours devant les yeux. »

En Italie, la plupart des observateurs remarquèrent que, dans les moments qui précédèrent la disparition totale du Soleil, les objets prirent une teinte verdâtre, et passèrent ensuite graduellement à la couleur de safran (*croceo*) suivant les uns, au violet suivant les autres.

L'observateur de Crémone, qui a suivi dans cette ville les diverses phases de l'éclipse, rapporte que tout lui semblait éclairé par un feu de Bengale.

A Milan, l'immense plaine qui se développait devant les observateurs réunis au Lycée de Saint-Alexandre, parut couverte d'une teinte verdâtre.

M. Majocchi rapporte qu'à Novare, pendant l'éclipse totale, le ciel, depuis 50 degrés de hauteur, jusqu'à l'ho-

rizon, offrait une teinte rosacée, comme s'il y avait eu dans ce moment une aurore boréale.

A Lodi, au moment de l'éclipse totale, M. Piola voyait à l'horizon, vers le nord et vers le midi, une ceinture de 15 à 20 degrés de hauteur, dont la couleur ressemblait à celle du cuivre rouge. Plus haut, et sans dégradation aucune, le ciel était d'un azur violacé très-sombre. Cette dernière teinte, reflétée par les eaux du Pô et du lac de Lecco, leur donna une apparence plombée qui inspirait la terreur.

Ces observations offrent entre elles des différences essentielles; mais les personnes au courant de l'optique ne pouvaient guère s'attendre à plus d'accord entre les résultats.

Les circonstances atmosphériques n'ont pas dû seules amener de la variété dans les jugements; les propriétés intimes des yeux des observateurs y seront entrées pour une bonne part.

Rien assurément de plus dissemblable, pour le commun des hommes, que la couleur des roses et celle des feuilles du rosier, que la couleur des cerises mûres et celle des feuilles du cerisier, etc., etc. Il existe cependant des personnes qui ne distinguent ces fleurs et ces fruits des feuilles environnantes, que par la forme. Entre les yeux ordinaires et les yeux exceptionnels, fort rares, pour lesquels le rouge et le vert sont tout un, il y a différents degrés. Des observations de coloration, minutieusement discutées, en fourniraient certainement la preuve; mais il est un moyen encore plus simple d'arriver au but, le voici :

Ce moyen consiste, pour un observateur quelconque,

à exercer une certaine pression, de bas en haut, sur le globe d'un des yeux. A l'instant les objets paraissent doubles; on voit alors, par exemple, deux images de la flamme d'une chandelle. Eh bien, peu de personnes trouvent ces deux images exactement pareilles. Quand un naturaliste ou un astronome fait l'expérience, l'image correspondant à l'œil dont il se sert ordinairement est plus rougeâtre que l'autre.

Du moment où l'on a reconnu que les deux yeux d'un même observateur peuvent, avec le temps, arriver à faire voir les objets lumineux très-diversement, il semble difficile de ne pas accorder que des dissemblances analogues doivent exister entre les yeux des différentes personnes.

Ceci une fois convenu, tout le monde comprendra combien il serait inutile de se livrer à une discussion minutieuse des résultats variés dont j'ai fait l'énumération. Ces résultats manquent d'ailleurs de précision, à certains égards. Ainsi, on n'a pas assez nettement distingué la couleur de l'atmosphère de la couleur des objets terrestres que toutes les régions de cette atmosphère éclairaient; on n'a pas dit non plus si, lorsque les figures humaines semblaient d'un vert cadavéreux, cette teinte lugubre ne provenait pas principalement d'un effet de contraste, les figures s'étant alors accidentellement projetées sur une de ces zones atmosphériques, voisines de l'horizon, le long desquelles, suivant l'expression de M. Piola, régnait une teinte de cuivre rouge. L'important est donc d'établir que l'atmosphère, dans le voisinage du zénith, par exemple, a pu changer légèrement

de teinte ; qu'elle a pu passer même du bleu d'azur au vert foncé sans avoir pour cela besoin de supposer que le bord et le centre du Soleil émettent, comme on l'a imaginé, des rayons dissemblables, du moins sous le rapport de la couleur. J'ai donné dans l'*Astronomie populaire*[1] une solution complète de la question ainsi posée, en rapportant en outre les observations faites à l'occasion d'autres éclipses sur les changements de coloration des objets terrestres.

CHAPITRE XII

SUR LA COURONNE LUMINEUSE DONT LA LUNE PARUT ENTOURÉE PENDANT TOUTE LA DURÉE DE L'ÉCLIPSE TOTALE DE 1842

§ 1. — Forme générale de cette couronne.

La couronne lumineuse dont Halley, Louville, Ulloa, Ferrer, etc., parlèrent avec tant de détail en 1715, en 1778, en 1806, se montra en 1842 dans toute sa splendeur. Elle se composait d'une zone circulaire, contiguë au bord obscur de la Lune, et d'une seconde zone moins vive, contiguë à la première[2].

La lumière de cette seconde zone ou enveloppe allait en s'affaiblissant graduellement de l'intérieur à l'exté-

1. T. III, p. 578 à 581.

2. Suivant M. Piola, la couronne, en Italie, paraissait composée de deux anneaux lumineux concentriques, séparés l'un de l'autre par un anneau obscur très-étroit. L'observation de M. Piola aurait, au point de vue de la théorie, une importance extrême. Je n'ai pas appris que, M. Piola excepté, aucun des nombreux observateurs de l'éclipse ait vu l'anneau obscur signalé par le savant italien.

rieur. Celle de la première était à peu près uniforme; cependant M. Baily crut remarquer qu'elle avait plus d'éclat près de la Lune qu'à son autre limite.

Quoi qu'il en soit, les lumières des deux zones concentriques et contiguës étaient assez différentes pour légitimer la distinction que nous avons admise.

Dans la direction de la ligne qui joignait le point du disque solaire où l'éclipse commença, et celui où elle devait finir, il y avait deux expansions lumineuses étendues, deux vastes aigrettes de la couronne lumineuse. En France, ces aigrettes ont été vues presque partout, mais avec des formes un peu dissemblables.

A Perpignan, M. Mauvais estima que chacune des deux aigrettes était limitée par les deux branches d'une parabole ayant son sommet tangent au limbe de la Lune. Elles allaient donc en s'évasant à partir du point de tangence.

M. Selva, officier de marine, remarqua aussi, à côté de nous, que les deux expansions de l'auréole, dirigées suivant la ligne qui aurait joint les points d'immersion et d'émersion, étaient terminées par des traits curvilignes semblables aux branches d'une parabole.

Chose vraiment singulière ! ces mêmes prolongements ont été représentés, par des personnes instruites de Perpignan, avec des extrémités pointues!

Pourquoi de telles différences entre les observations d'un même lieu? Parce que les figures n'ont probablement pas été dessinées au même moment, et, surtout, parce que les uns reproduisaient ce qu'ils voyaient à l'œil nu, tandis que les autres avaient recours à des lunettes plus ou moins grossissantes. Je m'imagine que si l'on opé-

rait de même, tout à fait à la hâte, sur d'autres objets mal définis, tels que certains nuages, les représentations faites à l'œil nu différeraient notablement de celles qu'on aurait obtenues avec le secours d'un instrument amplifiant.

A Narbonne, MM. Pinaud et Boisgiraud virent au sud-est du disque lunaire « une belle gerbe de rayons curvilignes divergents dont les deux derniers interceptaient entre leurs courbures opposées un espace où la lumière avait une moins vive intensité que dans tout le reste de l'auréole... Au nord-ouest apparaissait un large cône de rayons lumineux convergents, d'un éclat plus vif que les parties environnantes. »

A Montpellier, M. Petit aperçut momentanément quatre de ces expansions de la couronne, que nous avons appelées aussi des aigrettes. Deux, diamétralement opposées, étaient, l'une en haut, l'autre en bas, dans le sens du nord-ouest au sud-est. La direction des deux autres était presque celle du nord-est au sud-ouest.

Dans le dessin de M. Méryon, élève de la marine de première classe, que M. Bérard m'a remis comme la représentation fidèle du phénomène tel qu'il se montra à Toulon, on croirait voir deux images, l'une droite, l'autre renversée, de la lumière zodiacale.

Le dessin de M. Flaugergues, professeur à Toulon, ressemble à celui de M. Méryon, par le bas; à l'autre extrémité, l'aigrette de l'auréole est tracée beaucoup plus à droite ; enfin, dans le prolongement de la verticale passant par le point le plus élevé du disque lunaire, on voit une troisième aigrette, dont le dessin de l'élève de la marine n'offre aucune trace.

A côté de M. Flaugergues, M. Pirio, professeur de fortification à l'École d'artillerie navale, dessinait aussi trois aigrettes; mais les deux d'en haut étaient moins isolées, moins séparées l'une de l'autre. On aperçoit encore des différences essentielles entre les deux figures, quand on compare particulièrement les positions relatives des trois aigrettes.

M. Airy et M. Baily ne virent rien, à la Superga et à Pavie, qui interrompît la régularité de l'auréole. Les représentations qu'ils ont données du phénomène n'offrent aucune trace de ce que nous avons appelé des expansions, des aigrettes. Les Mémoires des deux astronomes anglais ne renferment pas un seul mot d'où l'on puisse conclure que, dans les deux stations susmentionnées, il y avait des particularités optiques dignes de remarque, vers le nord-ouest et le sud-est de la Lune, au nord-est et au sud-ouest. L'auréole, à l'extérieur, « n'offrait nulle part, dit M. Baily, le contour arrêté d'un anneau ». Mais, sous ce rapport, le haut, le bas, la droite, la gauche, tous les autres points du contour, étaient exactement dans les mêmes conditions.

Il paraît difficile d'expliquer les différences d'aspect dont il vient d'être question, si l'on admet que l'auréole était une atmosphère matérielle, existant dans l'espace autour du Soleil ou de la Lune. Une masse gazeuse entourant le Soleil n'aurait-elle pas dû se présenter à toute la Terre avec la même forme, la même grandeur, dans la même position? Des observations faites précipitamment, dans le court intervalle d'une à deux minutes, ont pu certainement être affectées d'erreurs notables; mais

doit-on mettre sur le compte de pareilles erreurs la différence si capitale que nous avons remarquée entre les couronnes de Perpignan, de Narbonne, de Montpellier, de Toulon, et celles de la Superga et de Pavie? Quelle est la cause qui a rendu invisible en Italie ce qui était si apparent en France[1]?

J'ai pensé devoir mettre cette question en relief. Tel a été le but principal des développements étendus que j'ai donnés à ce paragraphe.

§ 2. — De la situation des rayons divergents de la couronne.

A Perpignan, les rayons divergents qui donnaient à la couronne l'aspect d'une gloire de saint semblaient partir du bord extérieur de la première zone circulaire. Aucun de ces rayons ne se prolongeait à travers cette zone, jusqu'au bord obscur de la Lune.

La même remarque a été faite à Montpellier. MM. Petit et Roche disent, dans leurs relations manuscrites, que les traits, en allant de l'extérieur à l'intérieur, s'arrêtaient vers le milieu de l'anneau total, c'est-à-dire à la circonférence extérieure du plus petit.

1. Depuis que ceci est écrit, j'ai appris que les deux principales aigrettes furent aperçues à Milan par M. Picozzi. M. Majocchi les a décrites en ces termes dans une brochure que j'ai sous les yeux :

« De la partie supérieure (de l'anneau) s'élevait un jet large qui, en s'éloignant vers la droite, se ployait de telle sorte que ses rayons prolongés, loin d'aboutir au centre de la Lune, auraient détaché, vers la gauche, un tiers du disque de cet astre. Un autre jet, semblable au précédent et sur son prolongement, se voyait au bord inférieur inclinant vers la gauche. »

Voilà Milan rentré dans la règle générale; mais l'exception de Pavie n'en devient que plus étrange.

Dans son Mémoire de 1806, Ferrer plaçait l'origine des rayons divergents à la circonférence extérieure de la plus grande des deux zones concentriques. Le dessin ne représente aucun de ces rayons traversant les anneaux et atteignant le limbe de la Lune.

En examinant l'auréole à l'œil nu, je vis distinctement, un peu à gauche de la verticale passant par le point culminant de la Lune, une large tache lumineuse formée de jets entrelacés. Je donnerai une idée assez exacte de cette apparence insolite, en la comparant à un écheveau de fil en désordre, à un écheveau emmêlé.

M. l'abbé Peytal, de Montpellier, examina avec une attention particulière les traits lumineux dont se composait la couronne, surtout vers la gauche ; « ces traits paraissaient contournés, dit-il, comme un paquet de filasse de chanvre ». Suivant la figure que M. Peytal en a tracée, l'ensemble de ces traits était presque parallèle au limbe de la Lune.

D'après ce que je trouve dans la relation manuscrite où M. le capitaine du génie Mayette a consigné ses observations faites à Perpignan, parmi les jets divergents qui, partant de la circonférence de la couronne, allaient se perdre dans l'espace, on en comptait beaucoup qui n'étaient pas perpendiculaires à cette circonférence. Ces rayons prolongés ne seraient passés, à beaucoup près, ni par le centre de la Lune, ni par le centre du Soleil.

M. Dalbiez, de Perpignan, m'a remis un dessin de la couronne très-bien exécuté, où l'on remarque beaucoup de rayons dont les prolongements, loin de passer par le centre de la Lune, sont plutôt tangents au limbe.

Je remarque, enfin, des traits curvilignes bien accusés dans une figure que je dois à la complaisance de M. Vilaséca, jeune naturaliste très-instruit.

Des jets lumineux curvilignes, des jets entrelacés, des jets tangents au bord du disque lunaire, des jets n'émanant point de la région la plus centrale de la couronne lumineuse, voilà les rudes épreuves auxquelles les explications du phénomène devront désormais satisfaire. Les fausses théories ne resteront pas un instant debout devant de pareils faits.

§ 3. — Quelle était la largeur angulaire de chacune des parties de la couronne? La couronne était-elle centrée sur la Lune ou sur le Soleil?

En publiant avant l'éclipse de 1842 les réflexions et recommandations que j'ai reproduites plus haut (chap. VI, p. 146 à 156), j'avais conçu l'espoir qu'une fois bien avertis, les astronomes parviendraient à décider, par leurs observations, si la couronne lumineuse était centrée sur le Soleil ou sur la Lune. La couronne visible avait-elle mathématiquement pour centre le centre de la Lune, pendant toute la durée de l'obscurité totale? Une atmosphère du Soleil ne devait plus fournir une explication satisfaisante du phénomène. Cette seule remarque dévoile la haute importance de la recherche recommandée. Malheureusement l'observation n'a pas été faisable avec la rigueur nécessaire. Ainsi que je l'ai déjà dit, les bords extérieurs de la couronne présentaient très-peu de netteté, et, dans plusieurs directions, il en partait, jusqu'à des distances considérables, des traînées lumi-

neuses si confuses, que toute mesure micrométrique devenait presque impossible. Quand une si grande incertitude plane sur les mesures, est-il permis de faire beaucoup de cas de simples évaluations? Quoi qu'il en soit, je voulais rapporter à la fois les évaluations et les mesures, mais j'ai été souvent arrêté par l'impossibilité de décider si les observations étaient relatives aux dimensions de la plus grande des deux auréoles ou seulement à celles de l'intérieur.

A Perpignan, M. Selva, officier de la marine militaire, voulut bien faire usage d'un cercle répétiteur à réflexion de M. Gambey, que je lui avais confié, pour déterminer la largeur de la couronne lumineuse intérieure. Il trouva invariablement cette largeur de 3 minutes, à l'occident et à l'orient, pendant toute la durée de l'obscurité totale.

M. Laugier se servit, pour la mesure de l'auréole, d'un verre divisé que j'avais fait adapter à une lunette grossissant très-peu. Il lui parut que du bord de la Lune au bord extérieur de la seconde auréole, il y avait 10 minutes.

M. Mauvais employa un réticule de même espèce; mais son observation porta exclusivement sur l'auréole intérieure, sur l'auréole à éclat uniforme. Le résultat fut d'une minute au-dessous de celui de M. Selva.

A l'aide d'un micromètre semblable, M. Petit, à Montpellier, trouva pour la largeur angulaire des deux auréoles, des deux anneaux concentriques, 8′ 45″.

A Toulon, M. Regnaud, officier de marine, ne trouva que 2 minutes pour la largeur angulaire de la couronne intérieure, en se servant d'un cercle à réflexion.

M. Baily donna, par estime, à la couronne (à la réunion des deux), à partir du bord de la Lune, une largeur égale au rayon de la Lune, une largeur de 16 minutes.

M. Airy porta, par estime, la largeur de la couronne (intérieure?) au huitième du diamètre de la Lune, c'est-à-dire à une dimension angulaire d'environ 4 minutes.

A Lipesk, suivant MM. Otto Struve et Schidlofsky, la largeur de la couronne, depuis le bord de la Lune jusqu'au contour extérieur d'où dardaient de longs rayons dans toutes les directions, était de 25 minutes.

A Perpignan, les plus longs rayons formant les gloires avaient, suivant M. Mauvais, à partir du bord obscur de la Lune, une longueur égale au diamètre de cet astre, une longueur d'environ 33 minutes.

A Toulon, M. Flaugergues remarqua trois aigrettes « dont les sommets, dit-il, auraient été inscrits dans un cercle d'environ 3 degrés et demi (de diamètre) ». La distance angulaire de ces sommets au bord de la Lune était donc d'environ 1 degré et demi.

A Lipesk, MM. Otto Struve et Schidlofsky virent des aigrettes qui avaient 3 et même jusqu'à 4 degrés d'étendue à partir du bord de la Lune.

J'ai discuté dans l'*Astronomie populaire* [1] l'explication qu'on avait pensé pouvoir donner de l'auréole lumineuse en l'attribuant, d'après une expérience de cabinet des astronomes La Hire et De l'Isle, à un effet de diffraction. J'ai fait voir que cette théorie était insuffisante, qu'elle ne rendait aucun compte des traits lumineux de l'auréole

1. Livre XXII, chap. XIII, t. III, p. 603.

qui sont dirigés vers le bord, et non vers le centre des deux astres; des traits lumineux emmêlés; des aigrettes courbes; des aigrettes brillantes qui, partant de certains points, s'étendent jusqu'à 3 et même 4 degrés du bord de la Lune, alors que, dans d'autres points, il n'y en a pas de traces.

Ces remarques ne paraîtront pas inutiles si l'on réfléchit qu'une théorie ne doit prendre rang dans la science, qu'après avoir satisfait aux phénomènes jusque dans les plus minutieux détails. Comme je l'ai dit dans l'*Astronomie populaire*, il est possible que la lumière de la couronne blanchâtre soit le résultat de la superposition de la lumière provenant d'une atmosphère diaphane dont la photosphère solaire serait entourée, et de celle d'une couronne artificielle formée par voie de diffraction. La question pourra probablement être résolue par des observations de polarisation faites avec soin.

§ 4. — Nature de la lumière de la couronne.

A Perpignan, M. Laugier trouvait l'auréole un peu jaunâtre dans la lunette; elle lui paraissait blanche à l'œil nu.

M. Mauvais jugeait la teinte légèrement jaunâtre. Il faut remarquer qu'elle se projetait sur un ciel dont la nuance pouvait, par voie de contraste, contribuer un peu à cette coloration.

MM. Pinaud et Boisgiraud assurent qu'à Narbonne la lumière de la couronne ne paraissait point colorée.

M. Flaugergues partage cet avis. A Toulon il trouva pour la teinte le blanc laiteux.

Suivant M. Baily, « la couronne, à Pavie, était d'une blancheur parfaite (*quite white*) ».

M. Piola la voyait *pagliarina*, couleur de paille.

M. le professeur Majocchi, de Milan, caractérise cette même lumière en ces termes : « Elle était blanche, avec une tendance au jaunâtre (*al giallognolo*) ».

A Lipesk, où la couronne se montra avec une intensité extraordinaire, avec un éclat éblouissant, MM. Struve et Schidlofsky la trouvèrent complétement blanche.

M. Fusinieri, de Vicence, décomposa, à l'aide d'un prisme de verre, la lumière de l'auréole lunaire. Il assure que le spectre provenant de cette décomposition manquait absolument de vert, que la place qu'occupe ordinairement cette couleur était entièrement obscure.

A Montpellier, plusieurs personnes prétendirent que la couronne n'était pas fixe, qu'elle tournait sur son centre, comme les soleils des feux d'artifice.

M. Roche remarqua une partie de cet effet; il l'attribue à un changement de position que les rayons formant la gloire auraient exclusivement éprouvé.

Je lis dans une brochure publiée par M. le professeur Lenthéric : « La couronne parut à quelques personnes avoir un mouvement circulaire, pareil à celui d'un artifice embrasé mis en jeu sur son centre, comme le remarqua don Antonio de Ulloa dans l'éclipse de 1778. »

Suivant M. Baily, les rayons lumineux qui formaient la couronne paraissaient voltiger (*flicker*) vivement, comme ceux d'une flamme de gaz.

« A Lipesk (en Russie), disent MM. O. Struve et Schidlofsky, l'aspect de la couronne variait sans cesse ; elle paraissait dans un état d'agitation violent. »

§ 5. — Intensité de la lumière de la couronne.

Les astronomes s'étaient généralement accordés à porter leur attention sur les observations qui semblaient devoir conduire à quelque évaluation précise du pouvoir éclairant de la couronne lumineuse. Les savants italiens, surtout, qui devaient avoir l'avantage d'observer l'éclipse totale de 1842 sans quitter leurs demeures, avaient fait, à ce sujet, des préparatifs ingénieux et variés. Je consignerai ici les résultats qui sont venus à ma connaissance ; ceux-là même dans lesquels l'intensité de l'auréole ne se trouve qu'implicitement, comme une inconnue qu'il serait difficile de dégager, dont on aurait quelque peine à trouver la valeur numérique.

Beaucoup d'observateurs s'accordent à soutenir que la couronne varia d'intensité. Ils disent qu'aux premiers moments de l'éclipse totale, le maximum d'éclat se remarquait vers les points du disque de la Lune sous lesquels le Soleil s'était immergé. A la fin, au contraire, ce maximum s'était transporté vers la région où le Soleil allait se montrer. Nous avons pour garants de cette remarque importante : M. Littrow, de Vienne ; M. Piola, de Milan, etc.

La couronne se présenta, en divers lieux, avec des intensités tellement dissemblables, qu'on ne pourrait guère rendre compte des différences par la plus ou moins

grande diaphanéité de l'air, à moins qu'on ne prétendît attribuer à la lumière de cette mystérieuse auréole des propriétés particulières. Tous ceux qui compareront les observations de France, d'Italie, d'Allemagne, avec celles dont MM. Otto Struve et Schidlofsky nous ont transmis la relation, apprécieront, je pense, la justesse de ma remarque.

A Perpignan, à Milan, à Vienne, la lumière de l'auréole paraissait, par la nuance et par l'éclat, semblable à celle de la Lune. Mettons en parallèle avec ce résultat, celui des observations de Lipesk, gouvernement de Tambow, latitude 52° 36′ 43″, longitude $2^h\,29^m\,1^s$, à l'est de Paris.

« La couronne avait un tel éclat, qu'on pouvait à peine en supporter la vue à l'œil nu.

« Frappées de cette énorme intensité, des personnes instruites allèrent jusqu'à soutenir que le Soleil n'avait pas totalement disparu, et que l'anneau intérieur de l'auréole était une partie intégrante de son disque! »

Au moment de l'éclipse totale, le Soleil était de 29° 20′ plus élevé, au-dessus de l'horizon, à Lipesk qu'à Perpignan (11° 59′ et 41° 19′). Cette différence de hauteur serait-elle suffisante pour expliquer l'intensité extraordinaire de l'auréole à Lipesk?

Pendant une éclipse de Soleil, l'intensité de la lumière atmosphérique dans un lieu donné, est, à chaque instant, proportionnelle à la grandeur de la portion visible de l'astre, en tant, du moins, que cette lumière provient d'une seule réflexion sur les molécules d'air. Si la couronne s'aperçoit avant l'occultation totale de Soleil, l'in-

tervalle de temps compris entre le moment de cette apparition de la couronne et celui de la disparition du disque solaire permet de calculer la portion de ce disque qui, restant découverte, n'empêche pas la couronne de se montrer. Les résultats de ces calculs, combinés avec certaines données de la photométrie, conduisent ensuite au rapport qu'il y a entre l'intensité de la lumière de la couronne, et celle de l'atmosphère éclairée par la totalité du Soleil. Ces considérations feront apprécier l'utilité des observations que je vais rapporter.

A Montpellier, M. Petit aperçut l'auréole blanchâtre 5 à 6 secondes avant la disparition complète du Soleil. M. Roche, jeune observateur très-instruit, fit la même remarque.

A Salon, où M. Largeteau s'était rendu, la couronne devint visible 4 à 5 secondes avant le moment de l'éclipse totale.

M. Valz m'a écrit de Marseille que la couronne était encore visible quelques secondes après la réapparition du Soleil.

Dans toute la série d'observations qui ont été faites concernant le moment de l'apparition de l'auréole, celle que je vais rapporter de M. d'Hombres-Firmas prendra, je crois, le premier rang.

M. d'Hombres-Firmas était à Alais. Dans cette ville, l'éclipse ne fut pas totale, et cependant on vit la couronne; or, rien de plus facile que de déterminer quel segment du Soleil resta découvert à Alais au moment de la plus grande obscurité, quel segment du Soleil n'effa-

çait pas la couronne. Voici les propres expressions du savant correspondant de l'Institut :

« Tout le monde remarqua le cercle de lumière pâle qui entourait la Lune, lorsqu'elle recouvrait presque entièrement le Soleil. »

Il résulte clairement du Mémoire que M. Francis Baily a publié, qu'à Pavie la couronne se montra un certain temps avant la disparition complète du Soleil. M. Baily estime que l'éclipse totale arriva 3 à 4 secondes seulement après l'apparition de la couronne.

Voici un passage tiré des observations communiquées à M. Airy, directeur de l'observatoire de Greenwich, par une personne qui l'avait accompagné à la Superga, près de Turin. Si je suis bien informé, cette personne était madame Airy. Je me décide à commettre une indiscrétion, pour donner plus de poids à l'observation :

« Une brillante bande de lumière parut se former autour du côté droit de la Lune, avant la disparition du Soleil; mais alors l'anneau n'était pas complet. Au moment de l'éclipse totale, les deux extrémités de ce commencement d'anneau se joignirent subitement, et l'anneau entier se trouva ainsi formé. Il était plus brillant du côté gauche; des rayons paraissaient en jaillir. »

A Milan, MM. Majocchi, Sacchi et Picozzi aperçurent l'auréole, quelques secondes avant le commencement de l'éclipse totale, vers le point occidental supérieur où le premier contact des deux astres avait eu lieu. Il en restait encore des traces quelques secondes après l'émersion, mais cette fois dans la région opposée, c'est-à-dire aux environs d'un point inférieur oriental.

Pour déterminer l'intensité absolue de la lumière de la couronne, rien, au premier abord, ne pouvait sembler plus direct et plus délicat que les expériences photogéniques, mais ces expériences auraient dû être faites dans des conditions auxquelles la brièveté du temps disponible et d'autres circonstances ne permirent pas de satisfaire entièrement.

Ainsi M. Cauvy, de Montpellier, n'obtint aucune image appréciable de la couronne, même sur une plaque bromurée. Disons aussitôt que l'expérience porta, non sur une image formée par une grande condensation de lumière au foyer d'un objectif, mais sur l'image dilatée produite par une sorte de mégascope[1].

A Milan, MM. Carlo dell'Acqua et Giambattista Cabiati, s'aidant d'une lentille, concentrèrent pendant deux minutes la lumière de la couronne sur une lame bromurée, sans obtenir aucun effet perceptible.

Il est regrettable qu'on n'ait pas donné les dimensions de la lentille. Tout le monde sait, en effet, qu'en recourant à des condensations assez fortes, on a obtenu des images de la Lune. Il n'échappera d'ailleurs à personne que, dans les essais de Milan, on expérimentait à la fois sur la lumière de la Lune et sur les rayons, provenant de l'atmosphère, qui suivaient exactement la même direction pour arriver à la lentille.

Je lis dans un article du docteur Magrini, publié par la *Gazzetta privilegiata di Milano* du samedi 9 juillet, que

1. M. Cauvy est arrivé à des résultats intéressants, en comparant les images photogéniques produites par les régions du Soleil plus ou moins voisines du limbe.

la lumière de la couronne, condensée au foyer d'un miroir réfléchissant concave, y fit monter considérablement le thermoscope. Quand le réflecteur était dirigé vers la pleine lune, la bulle de ce même instrument n'éprouvait pas de mouvement appréciable.

Cette expérience n'est pas assez détaillée. L'auteur ne dit point de quel genre de thermoscope il se servit. S'il y avait deux boules dans l'instrument, nous ignorons la place qu'occupait la seconde : se trouvait-elle en dedans ou en dehors de la concavité du miroir? Dans le doute, rien ne dit quelle était, dans le mouvement thermoscopique observé, la part de la lumière provenant de la portion d'atmosphère terrestre située dans la direction de la Lune. Pour apprécier cette dernière cause d'ascension, il aurait fallu, après avoir constaté le mouvement du thermoscope résultant, par hypothèse, de la seule action de la lumière de la couronne, dévier un peu le miroir ; le tourner, tout juste, d'une telle quantité qu'aucun rayon de cette couronne ne se concentrât plus au foyer, et observer de nouveau le thermoscope. La différence des deux indications aurait exprimé à très-peu près l'action réelle de la lumière de la couronne. L'effet observé dans l'expérience du docteur Magrini peut évidemment avoir été complexe.

Pendant l'éclipse totale de 1715, Halley s'assura que l'auréole dont la Lune était entourée ne portait pas d'ombre. En 1842, on a cherché s'il en serait de même. Je vais donner ici les résultats, après avoir toutefois fait remarquer qu'on n'en saurait rien déduire concernant l'intensité absolue de la lumière de l'auréole : pour que

l'ombre existe, il faut et il suffit que cette lumière soit une fraction aliquote suffisante de la lumière totale jetée par l'atmosphère sur le tableau qui sert à l'expérience. Témoin la Lune : elle ne porte d'ombre ni pendant le jour, ni même pendant un certain temps après le coucher du Soleil, c'est-à-dire tant que la lumière atmosphérique a quelque intensité. A nuit close, c'est tout différent : les ombres lunaires sont alors très-apparentes.

M. Jaubert de Passa voulut bien, à ma prière, s'occuper, à Perpignan, de la recherche des ombres. Je transcris la Note qu'il m'a remise :

« J'avais placé un feuillet de papier blanc sur le parapet de la terrasse, et un caillou sphérique de 3 centimètres de diamètre au milieu du papier. Au moment de l'éclipse totale, l'ombre du caillou a complétement disparu. Pour mieux m'assurer de la disparition des ombres, j'ai placé verticalement sur le caillou un porte-crayon, et il n'a projeté aucune ombre sensible. J'ai relevé alors le papier; je l'ai présenté verticalement et à 4 centimètres environ du porte-crayon; il n'y avait pas plus d'ombre que dans les essais précédents. »

MM. Pinaud et Boisgiraud s'expriment en ces termes : « Nous avons cherché à constater si la lumière de l'auréole, à Narbonne, était assez vive pour projeter des ombres derrière les corps opaques. A cet effet, un crayon noir a été placé au-devant et très-près d'une feuille de papier blanc tournée vers le Soleil; il ne s'est manifesté aucune ombre appréciable. »

« Pour m'assurer, dit M. Largeteau, si la couronne lumineuse formait des ombres sensibles à Salon, j'appuyai

verticalement sur une table l'index de la main droite; il se forma à l'instant une ombre très-faible, mais cependant distincte. »

M. Belli, à Padoue, s'assura que la couronne ne formait pas d'ombre sensible. Cette observation est d'autant plus certaine, que l'habile physicien avait tout disposé pour déterminer, d'après la méthode photométrique connue de l'égalisation des ombres, les intensités comparatives de la lumière de la couronne et de celle d'une bougie.

En recourant à l'improviste à d'autres procédés, M. Belli trouva qu'à la hauteur angulaire de 19° 45′ au-dessus de l'horizon, la lumière de la couronne était à celle que la pleine lune aurait répandue sur la terre à la même hauteur, dans le rapport de 1 à 7. Le physicien de Vérone ne présente ce résultat qu'avec une extrême réserve; et, en effet, les méthodes employées et les circonstances de l'observation prêteraient à des difficultés de plus d'un genre.

CHAPITRE XIII

COURONNE LUMINEUSE DE L'ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL OBSERVÉE LE 8 AOUT 1850 A HONOLULU (ÎLE SANDWICH)

Pour compléter la discussion à laquelle je viens de me livrer à l'occasion de l'éclipse de 1842, je vais faire connaître les observations précieuses dont la science est redevable à M. Bonnard, commissaire de la République française à Taïti, et à M. Kutczycki, qui a si bien exécuté ses ordres; ces observations ont été faites pendant l'é-

clipse totale du 8 août 1850 à Honolulu (île Sandwich).

D'après toutes les relations qui nous sont parvenues d'éclipses totales de Soleil, la Lune, au moment du phénomène, était entourée d'un anneau bien terminé et formé d'une lumière blanchâtre, se projetant sur un fond moins lumineux, qui s'étendait assez loin. Les observateurs ont attribué à cet anneau, par évaluation et non à la suite d'une mesure, une largeur qui varie entre 2 et 4 minutes. Les uns lui donnent le même centre qu'à la Lune ; les autres ont estimé que le centre coïncidait toujours avec celui du Soleil. Ce que les anciennes observations avaient laissé d'incertain n'a pu être résolu par l'observation du 8 juillet 1842. Voyons ce que nous apprend, à ce sujet, l'éclipse de 1850. Écoutons l'observateur d'Honolulu, M. Kutczycki :

« La couronne lumineuse était complétement irrégulière; dans son ensemble elle présentait l'aspect d'une étoile à plusieurs branches inégalement espacées et de différentes longueurs. Elle était plus lumineuse vers les bords de la Lune, mais elle ne présentait, ni dans son ensemble, ni dans aucune de ses parties, la trace d'un limbe, rond ou arrondi, formant anneau autour des deux astres ; sa lumière décroissait très-uniformément sans présenter aucune variation brusque appréciable. Il était donc hors de question de déterminer sur lequel des deux astres elle était centrée. Sa lumière était ou me paraissait parfaitement blanche, plus vive vers les bords de la Lune, comme je l'ai dit, et se dégradant jusqu'à se confondre avec la couleur grise violacée du ciel. Elle était striée dans la direction normale au bord de la Lune, par plu-

sieurs lignes ou traits plus noirs que le reste, qui existaient partout, mais qui étaient plus nombreux sur la partie occidentale du bord lunaire. Cela lui donnait, à la régularité près, l'aspect d'une gloire que les peintres font autour de la tête des saints; comparaison qui a été souvent, et à juste titre, employée. Le tout était parfaitement immobile et ne ressemblait en rien à une pièce de feu d'artifice tournant sur son centre. Cette immobilité était tellement parfaite que, pendant toute la durée de l'éclipse totale, un des traits sombres, plus apparent que le reste, n'a jamais cessé de se détacher du même point sur le bord occidental de la Lune, point qui était reconnaissable par une petite aspérité, la seule visible avec le grossissement de la lunette. Les deux branches les plus longues de la couronne, s'étendant dans la direction presque verticale, sous-tendaient à leurs extrémités un angle de 2° 35′; les branches de droite et de gauche, un angle de 2° 5′. La partie gauche était au moins deux fois aussi longue que celle de droite. La branche supérieure était aussi sensiblement plus longue que l'inférieure dès le commencement de l'éclipse totale; le contraire aurait eu lieu si l'excentricité de la Lune en eût été la cause. La différence, d'ailleurs, était beaucoup plus grande que cette excentricité ne pourrait l'expliquer, fût-elle dans le sens qu'elle aurait dû avoir dans ce cas. La couronne s'est-elle formée quelques instants avant ou après le commencement de l'éclipse totale? A-t-elle disparu avant ou après sa fin? Cette question résolue en sens opposés par Halley et Ulloa, malgré la difficulté que j'éprouve à en décider pour le commencement, ne me laisse aucun

doute sur la fin de l'éclipse. Elle disparaît, ou plutôt elle a disparu, à Honolulu, à l'instant même de l'émersion du premier rayon du Soleil, et son emplacement a semblé parfaitement obscur à partir de cet instant. Je ne doute pas qu'elle ne se trouve toute formée pendant la durée de l'éclipse, mais la plus petite portion du disque solaire suffit pour l'éteindre complétement, au moins du côté où l'émersion du Soleil a lieu. Un instant avant cette émersion, sa lumière a augmenté beaucoup d'intensité dans la partie qui touchait la Lune, au point même qu'il était difficile de la supporter à l'œil nu. Cette ceinture, considérablement plus lumineuse que le reste, n'avait que très-peu de largeur, et sa limite n'était pas assez définie pour qu'on pût la déterminer ; mais c'est peut-être là la couronne lumineuse qui, dans d'autres éclipses, a paru, à quelques observateurs, entourer les deux astres d'un anneau défini. En admettant cet anneau défini, il serait centré, sans aucun doute, sur le Soleil, et sa largeur serait bien au-dessous de 1′ 10″, car il était complétement recouvert par la Lune pendant la plus grande partie de l'éclipse totale, puisque le rayon de la Lune excédait celui du Soleil de cette quantité seulement. Cette ceinture plus vive a persisté jusqu'à l'émersion du premier rayon du Soleil, précédée par l'apparition d'un cercle rose dentelé ; le tout a disparu à l'instant de l'émersion. »

Je ne pense pas que personne trouve dans la relation qu'on vient de lire de M. Kutczycki, aucun argument décisif en faveur de la théorie si séduisante de La Hire et de De l'Isle, suivant laquelle la formation de l'auréole lumineuse dépendrait de la diffraction éprouvée par la lumière

solaire rasant les bords de la Lune. Les observations faites pendant l'éclipse totale du 28 juillet 1851, qui fut visible dans la partie septentrionale de l'Europe, ont laissé la question à peu près au même point où elle était immédiatement après l'éclipse de 1842.

Le phénomène doit donc être l'objet de nouvelles investigations. Il faudra recommander aux observateurs des futures éclipses totales de porter particulièrement leur attention sur le nombre des rayons lumineux ou obscurs, sur leur direction, sur leur point de départ par rapport au corps de la Lune et sur la manière dont ils se terminent dans l'auréole lumineuse.

CHAPITRE XIV

Y A-T-IL UNE ATMOSPHÈRE AUTOUR DE LA LUNE?

J'ai signalé (chap. VI, p. 152) un genre particulier d'observations qui peut conduire à des conclusions nettes et certaines touchant l'atmosphère de la Lune. Je dois ajouter que ces observations seraient sans efficacité, si l'atmosphère lunaire ne dépassait pas les sommités des montagnes dont l'astre est couvert. Cette restriction bien comprise, je vais rappeler la méthode et dire ensuite quel résultat l'éclipse de 1842 a donné.

Pendant une éclipse de Soleil, la Lune se projette en noir sur le Soleil et dans sa vraie forme. La région du Soleil restée visible est donc toujours limitée par deux portions de circonférence de cercle. Dans les points où ils se rencontrent, ces deux arcs forment des angles cur-

vilignes qu'on appelle les cornes. A certains moments, les cornes peuvent devenir très-aiguës, très-effilées.

Les rayons lumineux provenant du Soleil, qui dessinent extérieurement les sommets mêmes des cornes et les parties environnantes, ont ou rasé ou presque rasé la Lune pour arriver à l'œil de l'astronome. Si la Lune est entourée d'une atmosphère sensible, chacun de ces rayons lumineux se sera dévié dans une direction perpendiculaire à la région de la surface lunaire au-dessus de laquelle il aura passé, et avec une intensité dépendante de sa distance à cette région. Par l'effet de ces réfractions inégales, la forme circulaire du limbe du Soleil près des cornes paraîtra altérée.

Aucune altération permanente de cette nature ne fut aperçue à Perpignan pendant les diverses phases de l'éclipse du 8 juillet 1842. De temps à autre, les cornes devenaient obtuses ou tronquées; mais c'était le résultat de l'interposition de quelque montagne située sur le bord du disque lunaire. En effet, ces troncatures se montraient tantôt sur une corne et tantôt sur l'autre; l'atmosphère de la Lune, au contraire, aurait engendré une déformation permanente.

Le fait résultant de nos observations de Perpignan, la forme toujours circulaire de l'arc extérieur des cornes, a trop vivement occupé les astronomes depuis qu'on donne une attention sérieuse aux éclipses, pour que je ne doive pas citer nominativement tous ceux qui, en 1842, sont arrivés à la même conclusion.

M. Airy vit toujours, à la Superga (près de Turin), les cornes régulières et parfaitement pointues.

A Padoue, les cornes parurent toujours à M. Santini aiguës et très-nettes. Il n'y aperçut ni gonflement ni distorsion d'aucune sorte.

M. Conti confirme les remarques de son collègue.

M. Biela, qui observait aussi à Padoue, dit dans sa relation : « Les pointes des cornes étaient extrêmement aiguës; elles ne présentèrent ni prolongements ni courbures irrégulières. »

Ce n'est pas seulement par l'observation de la forme des cornes que nous espérions arriver à quelques notions précises sur l'existence et les propriétés de l'atmosphère lunaire. Des observations d'une autre espèce, celle du passage du disque de la Lune sur les facules allongées que présente la surface du Soleil, semblaient pouvoir conduire au même but (chap. VI, p. 153).

Pendant l'éclipse du 8 juillet 1842, on voyait sur le disque du Soleil des facules qui, à raison de la forme qu'elles avaient et de l'uniformité de leur lumière, se prêtaient parfaitement à rechercher si les parties des facules rectilignes voisines du disque noir avaient la même intensité que le reste, si elles éprouvaient une légère distorsion attribuable à une réfraction subie par les rayons lumineux dans l'atmosphère de notre satellite. Cependant, malgré tous nos soins et nonobstant le nombre considérable d'immersions et d'émersions de facules qu'il nous fut donné de noter, nous ne parvînmes pas, mes collaborateurs et moi, à saisir la moindre trace d'une atmosphère lunaire. M. Eugène Bouvard, à Digne, ne fut pas plus heureux. Aucune des facules qu'il vit s'enfoncer sous le disque obscur de la Lune ou repa-

raître, ne sembla altérée ni dans sa forme ni dans son intensité.

Je n'ai pas à m'occuper ici des descriptions de l'éclipse dans lesquelles on n'a fait aucune mention des facules : les auteurs de ces descriptions ne cherchèrent peut-être pas à découvrir ces curieux accidents de lumière, soit qu'ils fussent pressés par le temps, soit que l'observation dont j'avais tracé le plan ne parût pas leur offrir des chances de réussite. Le mot *facule* ne se trouve, à ma connaissance, que dans la brochure de MM. les professeurs de physique de Toulouse. « Quant à l'observation, disent-ils, des facules du Soleil, que M. Arago avait recommandée, pour savoir si, autour du disque de la Lune, il se formait une pénombre provenant de la présence d'une atmosphère enveloppant ce satellite, il nous a été impossible de les découvrir à l'aide de nos lunettes trop peu puissantes sans doute; nous devons dire toutefois, qu'à en juger par une inspection aussi attentive que possible, la surface visible du disque solaire nous a toujours paru, à travers nos verres colorés, douée d'un éclat uniforme, d'une intensité égale de lumière en tous ses points. »

Quoique les faits négatifs soient généralement sans valeur en présence de faits positifs bien constatés; quoique le passage qu'on vient de lire ne puisse pas infirmer les observations des trois astronomes de Perpignan et de l'astronome de Digne, je dirai, pour l'honneur des principes, à MM. les professeurs de Toulouse qui, par une curiosité digne d'éloges, s'étaient transportés à Narbonne, que, s'ils n'aperçurent, le 8 juillet 1842, au-

cune des nombreuses facules dont le Soleil était alors parsemé, on ne saurait l'attribuer exclusivement au peu de puissance des lunettes et du télescope grégorien dont ils faisaient usage. Les facules furent découvertes par Galilée et étudiées par Scheiner, avec des instruments extrêmement médiocres, et à l'aide de très-faibles amplifications. La meilleure lunette dont Galilée se soit jamais servi, grossissait trente-deux fois.

CHAPITRE XV

Y A-T-IL QUELQUEFOIS SUR LA LUNE DES ESPACES, GRANDS OU PETITS, LUMINEUX PAR EUX-MÊMES? Y A-T-IL A LA SURFACE DE NOTRE SATELLITE DES VOLCANS EN IGNITION? L'ATMOSPHÈRE DE LA LUNE (SI CETTE ATMOSPHÈRE EXISTE) EST-ELLE SILLONNÉE PAR DES ORAGES?

Les questions qui forment le titre de ce chapitre furent posées dans la Notice que je publiai avant l'éclipse de 1842 et qui forme le commencement de la Notice actuelle. Elles dérivaient des anciennes observations de Halley, de Louville, de don Antonio de Ulloa, etc., que j'ai rappelées précédemment (chap. v, p. 144).

Pendant l'éclipse totale de 1778, Ulloa, Aranda et Wintuisen, ainsi que je l'ai rapporté, virent dans la région nord-ouest de la Lune, un point lumineux qui brilla successivement, comme les étoiles de quatrième, de troisième et de seconde grandeur. Ulloa expliqua son observation d'une manière singulière : il croyait avoir aperçu le Soleil au travers d'une fissure du globe lunaire dont la longueur totale, d'après le calcul de Lalande, n'aurait pas été de moins de 109 lieues (ch. vi, p. 150).

Quoique l'observation des deux officiers espagnols, en tant que faite sur un vaisseau en mer, n'eût pas été admise par les astronomes avec une entière confiance, chacun s'empressa, le 8 juillet 1842, de rechercher si quelque lumière semblable à celle de 1778 ne se montrerait pas en dedans et tout près du contour circulaire et obscur de notre satellite.

A Perpignan, malgré la force de nos lunettes, nous ne vîmes absolument rien de pareil. Je ne trouve, non plus, aucune observation de cette nature, ni dans les notes que M. Eugène Bouvard m'a remises, ni dans celles de M. Petit.

A Pavie, M. Baily n'aperçut sur le disque lunaire aucun point lumineux fixe.

A la Superga, M. Airy ne fut pas plus heureux.

Voilà bien des résultats négatifs ; j'arrive maintenant à des citations toutes contraires.

« L'un de nous, disent MM. Pinaud et Boisgiraud dans leur Mémoire, a vu très-distinctement apparaître tout à coup, vers le milieu de l'éclipse totale, un point brillant entouré d'une vive scintillation circulaire, qui est resté invariablement fixé dans la région sud-sud-est inférieure, un peu à gauche du diamètre vertical, près de la circonférence du disque. Ce point brillant n'a disparu qu'un instant avant la fin de l'éclipse totale. »

Ce passage laisse beaucoup à désirer. Celui des quatre observateurs de Narbonne qui vit le point lumineux ne dut pas manquer de faire part à ses collaborateurs, de l'apparition dont il venait d'être témoin. Alors, pourquoi ne pas dire si après cet avertissement de l'observateur

privilégié, le point brillant entouré d'une vive scintillation circulaire continua à rester invisible pour les trois autres observateurs? Il est présumable que, voulant se mettre à l'abri de toute cause d'erreur, l'observateur qui découvrit le point rayonnant essaya de le voir aussi avec une, au moins, des trois autres lunettes placées sous sa main; on n'aurait pas dû omettre une circonstance si essentielle. Ces explications eussent peut-être empêché des esprits difficiles, de regarder à tort une observation précieuse comme un simple effet de quelque illusion d'optique.

La figure que MM. les professeurs de Toulouse ont donnée place le point rayonnant à une distance du bord du disque de la Lune, égale à environ le septième du rayon. Cette position, en la supposant exactement tracée, ne pourrait pas se concilier avec l'explication de don Antonio de Ulloa : elle exigerait que la Lune fût percée d'outre en outre, d'un trou dont la longueur ne saurait être admise. Ce trou, à raison de sa position vers le bas de la Lune, se serait d'ailleurs projeté sur le Soleil, peu de minutes après le commencement de l'éclipse, et il n'aurait cessé de correspondre à cet astre qu'après la fin de l'obscurité totale. Le point rayonnant eût donc été visible pendant une cinquantaine de minutes.

A Barcelone, suivant ce que M. Presas m'a écrit, un médecin, don Pedro Vieta, annonça qu'il avait vu le trou d'Ulloa vers la partie inférieure de la Lune. La lumière qui passait par ce trou était aussi intense que celle du Soleil; le trou, d'après M. Vieta, était courbe. Il fut visible, un quart d'heure après le moment de

la conjonction des deux astres, pendant trois minutes.

Je ne devine pas comment M. Vieta a pu reconnaître que le trou était courbe. Je dois faire remarquer que le trou d'Ulloa était dans la partie supérieure et non dans la région inférieure de la Lune ; j'ajoute, enfin, que don Ezequiel Calvet, professeur de navigation, qui observait à côté de M. le médecin Vieta, ne parvint à voir, malgré tous ses efforts, ni de la lumière resplendissante, ni le trou courbe dont son voisin l'entretenait.

M. Valz a vu sur la Lune, pendant l'obscurité totale, des points lumineux très-vifs. L'explication qu'il en a donnée a quelque ressemblance avec celle d'Ulloa. Le lecteur, au reste, va la connaître, car je reproduirai textuellement les passages les plus essentiels des lettres que j'ai reçues de mon ami M. le directeur de l'Observatoire de Marseille. Les observations que ces passages signalent diffèrent, par une circonstance capitale, de celles qui furent faites, en 1842, dans toute l'étendue de la zone où régna l'obscurité totale : M. Valz crut voir, en dedans du limbe de la Lune, des points lumineux qui, à Perpignan, à Montpellier, à Narbonne, à Visan, à Toulon, à la Superga, à Pavie, à Milan, à Padoue, à Vienne, à Lipesk (en Russie), se montrèrent évidemment en dehors de ce même limbe [1]. Ce désaccord est très-extraordinaire, et, je le dis ici sans détour, si la grande habileté de M. Valz m'était moins connue, je croirais devoir mettre, cette fois, les observations de Marseille entièrement de côté.

1. Les observations faites dans ces villes seront analysées plus loin.

« Quarante secondes, disait M. Valz dans une lettre du 30 juillet 1842, avant la fin de l'éclipse totale, je vis surgir, près du bord de la Lune, où j'attendais l'apparition du Soleil, deux points rapprochés et très-brillants, plus brillants même que les étoiles de première grandeur. Leur lumière était blanche, pareille à celle du Soleil. Il partait de chacun de ces points une traînée lumineuse semblable à celle qu'on voit dans une chambre obscure à partir de l'ouverture par laquelle la lumière solaire pénètre, mais plus divergente et ayant fort bien la position des traînées qui forment la gloire des saints. Dès le moment de cette apparition, j'eus la conviction que je voyais des points du disque du Soleil, et je ne crois pas que, d'après les détails précédents, on puisse se refuser à l'admettre. Quinze secondes après, un troisième point brillant se montra plus au nord, produisant aussi une traînée divergente et concourant à former une portion de la gloire des saints. »

M. Valz nous apprend que des points lumineux ont été vus, à l'œil nu, vers le bord de la Lune à Marseille, à Aix, à Anduse, au château de Massillargues, à Nîmes, etc. Il ajoute que M. Billet, professeur de physique au collége de Marseille, distingua bien le faible intervalle qui séparait les points lumineux du limbe de notre satellite, à l'aide d'une lunette de Rochon à double image, qui grossissait 24 fois.

M. Valz continue ainsi : « D'après le mouvement relatif des deux astres, les premiers points lumineux étaient à 20 secondes du bord de la Lune, c'est-à-dire à 1/50e du rayon, ou à une profondeur de 8 lieues comptées à partir

de la périphérie, dans le sens de ce même rayon. A la profondeur de 8 lieues, un trou allant de la surface antérieure de la Lune, supposée sphérique, à la surface postérieure devait avoir 150 lieues de long. Voilà qui est prodigieux sans doute. Ce résultat paraîtra peu admissible; mais les chiffres ne sauraient fléchir. Je ne supposerai pas, au reste, comme Ulloa, qu'il y a dans la Lune une sorte de puits foré, la traversant de part en part le long d'une de ses cordes; mais je crois à une grande et longue vallée de soulèvement qui, lorsqu'on la voit de loin, semble fermée par le haut à cause de la superposition, par voie de projection, des angles saillants des flancs montagneux qui la limitent, tandis que le fond est resté naturellement rectiligne. Comment croire, dira-t-on, à une vallée enfoncée de 8 lieues au-dessous de la surface générale de la Lune? Ceux qui refuseront d'admettre cette explication devront trouver mieux. Du reste, la constitution physique du bord de la Lune ne nous est pas connue, et il peut y être survenu des phénomènes dont nous n'avons pas d'idée... »

Dans une autre lettre du 6 octobre 1842, M. Valz m'a écrit :

« J'ai vu, dans un journal, que vous n'admettez pas mon explication des points lumineux. Pour moi, cette explication m'a paru la conséquence obligée des faits. Des volcans ne pourraient produire des rayons de pareille nature... Dans la relation de son voyage le long de la rivière des Amazones, La Condamine parle d'une localité, le passage du Pongo, où l'on voit des formes analogues à celles qu'il faut attribuer aux vallées lunaires, pour

expliquer l'apparition des points lumineux près des bords...

« Quant aux points lumineux extérieurs et rouges dont quelques observateurs ont parlé, je n'en ai pas aperçu la moindre trace. S'ils étaient réels, on les aurait vus généralement. Je les considère comme des illusions d'optique. »

M. Valz était mal informé, lorsqu'il supposait que les points lumineux extérieurs n'avaient pas été vus généralement. On reconnaîtra plus loin que l'observation de Marseille doit seule être appelée l'exception.

Je ne sais si mon ingénieux ami et confrère a remarqué que, dans son hypothèse, il devrait y avoir, de temps à autre, près du bord de notre satellite, le jour de l'opposition, le jour de la pleine lune, des parties complétement obscures. Des ouvertures traversant la Lune d'outre en outre, des espaces sans matière solide, ne réfléchiraient vers la Terre aucune lumière sensible. On dira que, pour rendre compte des points lumineux, il n'est pas nécessaire de donner aux ouvertures de grandes dimensions; mais je répondrai qu'avec les grossissements dont les astronomes font usage aujourd'hui, on aperçoit dans la Lune des objets extrêmement petits. Je ne pourrais accorder, en outre, qu'à 20 secondes du bord, l'existence d'une vallée de 8 lieues de profondeur ne se serait pas révélée aux observateurs.

Venons maintenant aux lumières serpentantes de Louville.

Personne n'en a aperçu, malgré la force des lunettes et le soin attentif qu'on a donné aux observations.

Quant à des éclairs, à des jets lumineux momentanés et non serpentants, les seuls observateurs qui en aient parlé sont ceux de Venise :

« De temps en temps, dit l'abbé Zantedeschi, on voyait (sur la Lune) de faibles éclairs intermittents, comme des jets de lumière phosphorique entremêlés de traits noirs. »

« La surface de la Lune, suivant M. Wüllerstorff, était de temps en temps traversée par des traits lumineux. »

A Venise, où l'éclipse totale fut de très-courte durée, le nombre de ces éclairs, de ces jets lumineux dut être très-borné. On peut donc, à toute rigueur, les expliquer, sans rien admettre d'inflammable à la surface de notre satellite, en supposant simplement que plusieurs bolides, que plusieurs étoiles filantes s'interposèrent entre la Lune et l'observateur. Trouve-t-on quelque chose de forcé dans cette hypothèse, voici ma réponse :

Au moment de l'éclipse totale du 8 juillet 1842, un de mes camarades d'enfance, M. François Gonsalvo, vit, à Estagel, deux météores lumineux traverser le ciel vers la région même qu'occupaient les astres en conjonction. On ne peut guère douter qu'en se déplaçant convenablement il aurait vu les météores se projeter sur le disque même de la Lune.

Placez dans cette seconde station un astronome observant le phénomène avec une lunette. Le météore pénètre dans le champ de l'instrument ; si sa lumière ne prédomine pas assez sur celle de l'auréole, il n'est point encore visible ; mais bientôt le mouvement qui l'entraîne l'amène à se projeter sur le disque obscur de la Lune ; alors il

devient très-apparent. Cet état de choses subsiste jusqu'au moment où, après avoir parcouru une corde du disque lunaire, jusqu'au moment où, après être allé d'un bord au bord opposé, le météore se projette une seconde fois sur l'auréole et disparaît.

Je dois détromper ceux qui imagineraient que le fait observé par M. Gonsalvo a été unique. En Italie, M. Piola apprit de diverses personnes qu'elles avaient vu, pendant la courte durée de l'obscurité totale, des étoiles filantes et un bolide. Le bolide se mouvait si près de la région occupée par la Lune, qu'il avait paru se détacher de cet astre.

CHAPITRE XVI

SUR LES TRAITS RECTILIGNES ET NOIRS QU'ON S'ATTENDAIT A OBSERVER ENTRE LE BORD CONVEXE DE LA LUNE ET LE BORD CONCAVE VOISIN DU SOLEIL

J'avais signalé, avant l'éclipse de 1842, comme dignes d'attention, les traits rectilignes, larges, parallèles, complétement noirs et parfaitement définis, les dents de peigne, dont plusieurs astronomes avaient prédit l'apparition, pour le moment où le bord convexe de la Lune serait très-rapproché intérieurement du bord concave du Soleil. Le chapitre IV de cette Notice (p. 143) contient la description du phénomène telle que je la publiai quelque temps avant l'éclipse.

Nous donnâmes, à Perpignan, une très-grande attention aux phénomènes si bien décrits par M. Baily; néanmoins aucun de nous ne parvint à découvrir la plus

légère trace des ligaments. Des montagnes lunaires, voisines des extrémités des cornes, détachaient par moments ces extrémités du reste du croissant; mais il y avait loin de là aux chapelets décrits par l'astronome anglais, et annoncés comme une des phases caractéristiques des éclipses annulaires ou totales.

MM. Pinaud et Boisgiraud parlent de « ligaments noirâtres qui paraissaient unir les deux bords du croissant. » Ils les virent pendant 20 à 25 secondes. MM. les deux observateurs de Narbonne remarquèrent aussi des dentelures nombreuses, mobiles. D'après leur Mémoire, rien, ce me semble, n'autoriserait à dire qu'ils virent le chapelet.

A Montpellier, M. l'abbé Peytal vit le chapelet à l'instant où l'éclipse totale allait commencer : il ne dura qu'une demi-seconde. Ce phénomène avait été précédé, dit-il, de l'apparition de lignes noires « dont on ne pouvait pas déterminer la position sur le croissant, car elles avaient l'air de courir. »

M. Roche remarqua, comme M. Peytal, des lignes noires marchant le long du croissant, parallèlement à elles-mêmes; il ne vit pas le chapelet.

M. Valz n'aperçut à Marseille aucune trace ni des ligaments ni du chapelet proprement dit.

Tout le monde comprendra que M. Baily ait dû chercher avec un soin extrême les ligaments et les chapelets qui l'avaient frappé si vivement en Écosse. Ces phénomènes furent le principal objet de son voyage en Italie. Eh bien, en 1842, à Pavie, par le ciel le plus favorable, M. Baily ne vit aucune trace des traits noirs, des ligaments. Au contraire, ce que nous avons appelé le chapelet se montra

à lui distinctement (*the beads,* dit-il, *were distinctly visible*).

A la Superga, près de Turin, M. le directeur de l'Observatoire de Greenwich essaya, mais en vain, d'apercevoir des ligaments, et les séries de points lumineux détachés qu'on a appelés les grains de chapelet. Il donna toute son attention à cette recherche, soit au moment où l'éclipse totale allait commencer, soit immédiatement après la réapparition du Soleil.

A Padoue, le croissant devenu excessivement délié, à l'instant même où il allait disparaître, s'offrit à M. Biela comme un composé d'étoiles séparées.

A Venise, le nombre de ces étoiles, autrement dit le nombre de points distincts auquel se réduisit le dernier filet visible du Soleil, fut de huit à neuf.

A Naples, quoique l'éclipse ne dût pas y être totale, M. Antoine Nobile ne s'en livra pas moins, au moment convenable, à la recherche des ligaments et du chapelet. Il n'en aperçut aucune trace.

Une conclusion importante découle de l'ensemble de ces observations :

Les ligaments n'ont rien de réel ; ils ne se rattachent à aucune particularité dépendante de la constitution physique du Soleil ou de la Lune ; on doit les considérer comme le résultat de jeux de lumière, dans l'atmosphère, dans la lunette ou dans l'œil de l'observateur. S'il en était autrement, les astronomes les auraient aperçus à Perpignan, à la Superga, à Pavie, tout comme on les vit à Narbonne et à Montpellier. Le phénomène en question ne se manifeste pas, en effet, par une de ces nuances

photométriques fugitives qui exigent, pour être saisies, une réunion de circonstances extraordinaires. Des traits noirs se projetant sur le Soleil n'échapperaient pas à l'observateur le moins exercé, ne disposât-il que d'une lunette médiocre, même par un ciel brumeux ; or, dans ce cas-ci, les astronomes de profession n'aperçurent aucune dent de peigne, tandis que des amateurs, moins habitués au maniement des instruments, en virent un bon nombre.

Je me suis assuré que les ligaments tiennent à une cause beaucoup plus simple qu'on n'avait semblé le supposer : j'ai trouvé qu'ils sont une conséquence nécessaire, inévitable, de la vision confuse. L'astronome qui a mis sa lunette très-exactement à son point de vue, ne doit pas apercevoir le phénomène ; hors de cette position de l'oculaire, les ligaments ne peuvent manquer de se montrer.

CHAPITRE XVII

VISIBILITÉ DE LA PARTIE DU CONTOUR DE LA LUNE QUI NE SE PROJETTE PAS SUR LE SOLEIL

Quarante minutes environ après le commencement de l'éclipse du 8 juillet 1842, à $5^h\ 35^m$ de notre pendule, je vis le contour de la Lune se dessinant sur le ciel. Il formait le prolongement exact de l'arc circulaire obscur qu'une autre portion du même limbe traçait sur la surface du Soleil, et se réunissait à lui dans deux points du limbe radieux de ce dernier astre.

Cet arc extérieur paraissait mieux terminé à gauche

(dans ma lunette) qu'à droite. Il était plus visible près de la périphérie du Soleil qu'ailleurs.

Mes deux collaborateurs, MM. Laugier et Mauvais, à qui je fis part sur-le-champ de mon observation, n'aperçurent d'abord, à l'aide de leurs lunettes, aucune trace de la portion du limbe de la Lune qui se projetait sur le ciel; mais, comme moi, ils distinguèrent parfaitement la portion extérieure en question, en regardant dans l'instrument dont je me servais. M. Mauvais réussit, plus tard, à faire la même observation avec sa lunette [1].

La Note que M. Eugène Bouvard m'a remise, concernant les observations de Digne, contient ce passage :

« A $6^h 40^m$ (38^m après le moment de l'obscurité totale, et 23^m avant la fin de l'éclipse), j'ai vu presque entièrement le disque de la Lune, comme lorsqu'on aperçoit la lumière cendrée; mais le bord qui se détachait du Soleil était toujours plus lumineux. »

M. Flaugergues se servait, à Toulon, d'un télescope (c'est-à-dire d'un instrument à réflexion) de 60 centimètres de long. Malgré la petitesse de cet instrument, M. Flaugergues vit parfaitement le contour de la Lune en dehors du Soleil. Voici le passage dans lequel M. le professeur de l'École de l'artillerie de marine rend compte de son observation :

« Vers le milieu de l'éclipse croissante, le disque de la Lune a été visible sur un arc de 25 degrés environ au delà de chacun des deux points d'intersection des circon-

1. La lunette de M. Mauvais avait beaucoup plus d'ouverture que celle dont je me servais; les surfaces des objectifs de nos deux lunettes étaient entre elles dans le rapport de 26 à 10.

férences. Lorsque l'éclipse arriva à 11 doigts (aux 11/12es du diamètre), tout le disque de la Lune s'est trouvé visible, la lueur s'étant étendue sans devenir plus vive. »

Je crois pouvoir assimiler aux observations qui précèdent, la remarque suivante, extraite d'un article du docteur Magrini, que je trouve dans la *Gazette privilégiée de Milan* :

« La lumière appelée cendrée semblait plus claire vers le disque du Soleil, tant avant l'immersion qu'après l'émersion. »

La visibilité de la partie de la Lune qui se projetait en dehors du Soleil et à une grande distance du bord de cet astre radieux, aurait pu donner lieu à des expériences intéressantes. Il me vint tout de suite à la pensée de placer le Soleil hors du champ de la lunette, et d'examiner le contour de notre satellite sans verre coloré ; mais la crainte d'un de ces éblouissements connus des astronomes, dont la persistance va quelquefois à des jours, à des semaines, à des mois, et qui m'aurait empêché de suivre avec précision les autres phases de l'éclipse, me fit abandonner mon projet. Je crus d'ailleurs me rappeler que M. Baily, dans un de ses Mémoires, citait Van Swinden et M. Bessel, comme ayant aperçu le bord de la Lune hors du Soleil, pendant les éclipses annulaires de 1820 et de 1836. Dans cette idée, je me persuadai que nous venions simplement de confirmer une ancienne remarque.

De retour à Paris, le désir de rendre une complète justice à ceux qui nous avaient devancés, me conduisit à consulter les Mémoires originaux de Van Swinden et de

M. Bessel. Je reconnus alors que les observations de ces deux célèbres astronomes étaient totalement différentes de notre observation de Perpignan. Les premières, en effet, avaient trait aux régions très-voisines du Soleil, aux régions où s'engendrent les flammes qui paraissent surgir du disque de la Lune, aux régions où ce disque déborde à peine celui de l'astre qu'il éclipse; nous les citerons dans le dernier chapitre de cette Notice : à Perpignan, à Digne, à Toulon, il s'agissait du contour de la Lune, visible sur le ciel, à une très-grande distance du bord du Soleil.

Avant de discuter et d'expliquer autant que possible l'observation de Perpignan, recherchons si d'anciens astronomes n'auraient pas noté quelque chose d'analogue. Le lecteur se rappellera qu'il est question d'un astre non lumineux par lui-même, placé entre le Soleil et la Terre, éclairé conséquemment sur la face que nous ne pouvons apercevoir, et qui néanmoins est visible en se projetant sur des régions du ciel voisines de celles où se trouve le Soleil.

Voici une observation qui remonte à 1736 :

Dans le passage de Mercure du 11 novembre de cette année, M. Plantade, de Montpellier, vit la planète à une époque où elle ne se projetait plus sur le Soleil. Cette apparition extérieure, si l'expression m'est permise, ne dura que 6 à 7 secondes.

Pendant que Mercure se projetait sur le Soleil, son disque noir parut à M. Plantade entouré d'un anneau lumineux. Cet anneau est précisément ce que l'astronome de Montpellier crut voir persister hors du disque appa-

rent du Soleil pendant 6 à 7 secondes (*Mémoires de l'Académie*, 1736, p. 440).

Un objet regardé longtemps avec beaucoup d'attention laisse sur la rétine une impression de quelque durée. Ne serait-il pas possible que le Mercure vu en dehors du Soleil par M. Plantade n'eût été qu'une de ces images parasites?

L'astronome De l'Isle, de l'Académie des sciences, très-frappé de la remarque de M. Plantade, invita publiquement les observateurs à essayer, pendant les éclipses, de voir la portion de la Lune qui se projetterait en dehors du disque du Soleil. Short répondit à cet appel. Voici en quels termes il parle de sa recherche, dans un Mémoire relatif à l'éclipse annulaire de l'année 1748. Short faisait usage d'un télescope de 4 pieds anglais (1^{m}.22) de foyer, portant un grossissement de 120 fois.

« Je cherchai, avec toute l'attention possible, à voir le disque de la Lune avant qu'il atteignît le Soleil, et après son entière émersion, mais je ne pus rien découvrir. » Et comme s'il était honteux d'avoir fait une pareille tentative, Short ajoute : « Je mentionne ceci pour la satisfaction de M. De l'Isle, qui avait recommandé publiquement la recherche aux astronomes. »

D'après ce qu'on vient de lire, le célèbre opticien anglais ne paraîtrait avoir essayé de découvrir la partie du limbe de la Lune qui se projetait hors du Soleil, qu'avant le commencement de l'éclipse et après la fin. Les chances de réussite eussent été beaucoup plus grandes, s'il avait fait ses essais lorsque la portion visible du Soleil se trouvait réduite à la moitié, au tiers, etc., etc.

Short n'est pas le seul qui ait cherché si le contour de la Lune ne pourrait point, pendant les éclipses, être aperçu en dehors et à quelque distance du Soleil. M. Bessel rapporte que 10 secondes après le moment où l'éclipse de 1836 fut presque annulaire à Kœnigsberg, que 10 secondes après le moment où il aperçut autour de la Lune la zone lumineuse dont je parlerai tout à l'heure, la zone que j'ai considérée comme la région où s'agglomère la matière des protubérances lumineuses, « aucune trace du limbe de la Lune n'était visible » hors du Soleil.

Dans le Mémoire où le docteur Robinson rendit compte de l'observation faite à Armagh, de la même éclipse, presque annulaire, du 15 mai 1836, je lis :

« On ne voyait aucune trace de la circonférence de la Lune en dehors du Soleil. »

Il résulte de cet aperçu historique qu'aucun astronome ne découvrit jamais le contour de la Lune dans la position, dans les circonstances où il nous a été donné de le voir le 8 juillet 1842.

En se reportant aux détails de l'observation, on trouvera qu'elle soulève cette série de questions :

Quelle était la cause physique qui rendit la Lune visible, si près du Soleil, le 8 juillet 1842?

Pourquoi cette visibilité diminuait-elle à mesure qu'on s'éloignait de la périphérie du Soleil?

Pourquoi la visibilité n'était-elle pas la même des deux côtés du croissant solaire?

Comment arriva-t-il qu'entre trois lunettes ayant à peu près la même force, une seule rendait le limbe de la

Lune visible? Comment, avec des yeux déjà fatigués, me fut-il donné, à l'aide de l'instrument privilégié, de voir ce qui échappait aux investigations de deux collaborateurs jeunes, très-exercés et avertis, mais se servant de deux autres lunettes?

Je passe aux considérations qui me paraissent conduire à une solution plausible de toutes ces difficultés :

L'expérience a montré que pour le commun des hommes, deux espaces éclairés et contigus ne se distinguent pas l'un de l'autre, à moins que leurs intensités comparatives ne présentent, au minimum, une différence de 1/64e. Ce point de fait [1] sera la clef de toutes nos explications.

Quand une lunette est tournée vers le firmament, *son champ* (j'emploie l'expression des opticiens) semble uniformément éclairé : c'est qu'alors il existe, dans un plan passant par le foyer et perpendiculaire à l'axe de l'objectif, une image indéfinie de la région atmosphérique vers laquelle la lunette est dirigée.

Supposons qu'un astre, c'est-à-dire un objet situé bien au delà de l'atmosphère, se trouve dans la direction de la lunette : son image ne sera visible qu'autant qu'elle augmentera de 1/64e au moins l'intensité de la portion de l'image focale indéfinie de l'atmosphère sur laquelle sa propre image limitée ira se placer. Sans cela, le champ visuel continuera à paraître partout de la même intensité.

Ces prémisses convenues, passons au cas spécial de la Lune.

Le 8 juillet 1842, au moment de la conjonction des

1. *Astronomie populaire*, liv. V, chap. IV, t. I, p. 192.

deux astres, l'hémisphère de la Lune qui faisait face à nos instruments ne recevait aucun rayon direct du Soleil; il n'était éclairé que par la Terre; il ne pouvait nous envoyer que la lueur qui a été appelée *cendrée* à cause de son extrême faiblesse. Or, l'intensité de l'image cendrée de la Lune n'était certainement pas égale, 40 minutes seulement après le commencement de l'éclipse, à la soixante-quatrième partie de l'intensité que la lumière atmosphérique possédait, dans la région voisine du Soleil sur laquelle la Lune se projetait.

Ce n'est donc pas dans la lumière cendrée qu'il faut chercher la cause qui rendit la Lune visible le 8 juillet 1842; malgré cette lumière, la portion du champ de la lunette où l'image de notre satellite se peignait, devait se confondre avec la portion environnante, avec la portion où existait seulement l'image de l'atmosphère[1].

Portons maintenant nos regards plus loin.

La Lune, à cause de son opacité, doit arrêter les rayons lumineux, émanant d'objets plus éloignés qu'elle, qui la rencontrent dans leur trajet vers la Terre. D'où ces rayons pourraient-ils provenir? D'une nébuleuse, de quelque

1. Pour ne laisser aucun doute sur cette conséquence; pour montrer que la lumière cendrée n'a pu être, en aucune manière, la cause de la visibilité de la Lune, dans un moment où l'éclipse du 8 juillet 1842 était encore peu avancée, je dirai : Qu'en me servant de la lunette, du grossissement et du verre coloré dont je faisais usage à Perpignan, je n'ai réussi qu'avec une peine extrême, qu'après un temps très-long, à découvrir, de nuit, une très-faible trace de la pleine Lune. Or, la lumière cendrée est plusieurs milliers de fois plus faible que la lumière de la pleine Lune; or, à Perpignan, il faisait encore très-grand jour quand nous voyions le bord de cet astre.

région de la Voie lactée, de la tête ou de la queue d'une comète, de la lumière zodiacale, ou de toute autre partie de l'atmosphère solaire.

Considérons spécialement le cas où la Lune se projette en partie sur l'atmosphère du Soleil. Dans la portion du champ de la lunette où, mathématiquement parlant, l'image de la Lune se forme, il n'y a, il ne peut y avoir, que la lumière provenant de l'atmosphère terrestre : la Lune ne fournit rien de sensible, et, semblable à un écran, elle arrête tout ce qui provient de plus loin et lui correspond. En dehors de cette image, et précisément à partir de son bord, le champ est éclairé à la fois par la lumière de l'atmosphère terrestre et par la lumière de l'atmosphère solaire. Supposons que ces deux lumières réunies forment un total plus fort de 1/64e que la lumière atmosphérique terrestre, et, dès ce moment, le bord de la Lune sera visible.

Le genre de vision dont il vient d'être question peut prendre le nom de vision négative : c'est, en effet, par une moindre intensité de la portion du champ de la lunette où existe l'image de la Lune, que le contour de cette image est aperçu. Si l'image était plus intense que le reste du champ, la vision serait positive. Pour le dire en passant, c'est par la vision négative que nous apercevons à l'horizon les montagnes terrestres obscures ou boisées ; c'est, au contraire, par la vision positive qu'on distingue ordinairement les sommités couvertes de neige.

La région lumineuse, qui, par le mode d'action dont il vient d'être parlé, rendit le bord de la Lune visible à Perpignan, à Digne, à Toulon, est suivant moi, celle de

l'auréole lunaire. Il importe peu, quant au rôle que je veux ici faire jouer à cette auréole, qu'elle soit un jeu d'optique, ou qu'il faille la considérer comme une des enveloppes matérielles du Soleil, comme une partie de son atmosphère.

Ai-je trouvé la véritable cause du phénomène? Le bord de la Lune a dû se montrer d'autant mieux qu'il se projetait sur une région plus intense de l'auréole. Qu'a dit l'observation?

Toutes les relations sont d'accord à ce sujet : l'auréole, pendant l'éclipse totale, était très-brillante et d'une intensité uniforme dans une largeur d'environ 2 à 3 minutes; ensuite elle s'affaiblissait rapidement vers l'extérieur. Eh bien, le bord de la Lune se présentait avec des circonstances analogues lorsque nous l'observions sur le ciel, 40 minutes après le commencement de l'éclipse : il était très-visible, dans une certaine étendue, près du Soleil; plus loin on l'apercevait difficilement.

L'auréole, pendant l'éclipse totale, parut traversée en quelques points par des jets lumineux et des jets comparativement obscurs, semblables aux gloires des saints. Là où, dans le temps assez court que nous donnâmes à la recherche du bord de la Lune, ce bord se projeta sur un des jets obscurs, il dut être moins visible.

Enfin, la visibilité dépendait de la bonté de la lunette; non pas de la bonté considérée à la manière ordinaire, mais d'une qualité spéciale, cachée, dont il importe de chercher les caractères. Voici les considérations théoriques auxquelles j'ai cru pouvoir m'arrêter.

Quand la Lune est visible, son image télescopique est

de 1/64ᵉ au moins plus faible que l'image télescopique de la portion d'atmosphère qui l'entoure. Plaçons devant l'objectif de la lunette un diaphragme qui en diminue l'ouverture. Ce diaphragme fera varier dans le même rapport la lumière atmosphérique correspondant à l'image de la Lune, et la lumière qui se réunit autour de cette image. L'une de ces lumières, comme tout à l'heure, surpassera l'autre de 1/64ᵉ; le contour de l'astre se verra donc après la réduction de la surface de l'objectif par le diaphragme, comme il se voyait avant cette réduction.

Les choses auraient été tout autres, si, au lieu de réduire l'ouverture de la lunette à l'aide d'un corps opaque, on avait placé devant la même portion de l'objectif un verre dépoli. Ce verre, frappé par les rayons solaires, en eût dispersé uniformément une grande partie dans toute l'étendue du champ de la lunette, c'est-à-dire sur la région occupée par l'image de la Lune, aussi bien que sur celle où se formait seulement l'image de l'atmosphère. Remarquons maintenant qu'en ajoutant une même quantité à deux nombres, on change leur rapport géométrique, et nous arriverons au but.

Primitivement, l'éclat de l'atmosphère étant 65, et celui de la Lune 64, la différence des deux nombres s'élevait à 1/64ᵉ, comme cela était nécessaire pour la visibilité; mais, lorsque, sous l'influence du verre dépoli, chacune de ces intensités se serait trouvée accrue de 10 unités par exemple, l'intensité de l'atmosphère étant devenue 75, et celle de la Lune 74, la différence des deux, réduite à 1/74ᵉ, n'aurait plus suffi pour rendre le contour de la Lune visible.

Cet effet d'un verre dépoli, ou, plus généralement, d'un écran dispersant la lumière, une fois bien compris, pour expliquer comment les lunettes de MM. Laugier et Mauvais ne faisaient point voir ce qui était si apparent dans la mienne, il suffira de supposer que les deux lentilles de l'objectif de celle-ci étaient plus propres, mieux nettoyées à leurs surfaces extérieures et intérieures, que les quatre surfaces correspondantes de chacun des objectifs des deux autres lunettes. La faculté dispersante de la poussière, soit à l'état sec, soit amenée à l'état pâteux par son mélange avec un peu d'humidité, doit être, en effet, connue de tous les physiciens. La nature plus ou moins opaline, plus ou moins bulleuse des lentilles, pourrait aussi être prise en considération ; mais j'abandonne ces détails à la sagacité des lecteurs.

Quoi qu'il en soit de mon explication, le fait restera incontestable : la Lune peut être aperçue dans des positions où depuis cent ans on n'avait pas même essayé de la découvrir. Les astronomes qui voudront savoir si les Tables de cet astre sont aussi exactes le jour de la conjonction que dans les quartiers, les octants, les pleines Lunes, etc., ne seront pas réduits désormais aux seules observations des éclipses.

En résumé, pendant l'éclipse de 1842, au moment où la moitié du disque solaire était couverte par la Lune, la portion de ce dernier astre qui ne se projetait pas sur le Soleil devint visible. J'ai cru pouvoir assimiler ce phénomène à ceux que les opticiens ont rangés sous le nom de *vision négative*, et qui nous fait voir les montagnes très-éloignées se projetant en noir sur l'atmosphère un

peu plus resplendissante. Ici, la région du ciel, entourant le corps obscur de la Lune, prédominerait sur la lumière atmosphérique correspondante à cet astre, et sur la lumière cendrée, à raison de la lumière de l'auréole, quoiqu'elle ne soit pas alors visible séparément.

M. Kutczycki, qui n'avait pas sous les yeux la discussion à laquelle je m'étais livré des résultats obtenus dans l'éclipse de 1842, n'a pas fait à Honolulu en 1850 une observation analogue à celle qui fut recueillie à Perpignan.

Nous recommanderons aux astronomes qui auront l'occasion de la répéter, de noter, soit pour justifier, soit pour infirmer l'explication que j'en ai donnée, si la Lune se projette en noir ou en clair sur l'atmosphère dont le Soleil est entouré.

CHAPITRE XVIII

SUR UN MOUVEMENT ONDULATOIRE QUI SE MANIFESTE PEU DE TEMPS AVANT ET PEU DE TEMPS APRÈS L'ÉCLIPSE TOTALE, C'EST-A-DIRE LORSQUE LE SEGMENT SOLAIRE VISIBLE A TRÈS-PEU DE LARGEUR

En examinant attentivement des écrans sur lesquels le Soleil donnait en plein, j'avais souvent remarqué sur leur surface, tantôt ici, et tantôt là, des variations d'intensité brusques, momentanées, sans régularité, mais très-manifestes. Ces variations étaient évidemment l'effet de mouvements particuliers dans les couches atmosphériques traversées par les rayons solaires ; elles provenaient d'une certaine action exercée par des courants doués de températures, de densités, de réfrangibilités diverses. Telle est,

dans sa plus grande généralité, la cause du phénomène; telle est l'explication vue en gros. Reste l'étude des détails, reste l'épreuve à laquelle les théories physiques erronées ne résistent jamais. Ici des difficultés surgissent de toutes parts; un phénomène en apparence si simple, semble se rattacher, du moins en partie, aux propriétés les plus subtiles de la lumière. Ce lien, vrai ou supposé, entraînait à mes yeux une conséquence importante : les effets devaient être d'autant plus fréquents, d'autant plus caractérisés, que le segment visible du Soleil aurait un moindre diamètre apparent. Cette conséquence me revint à l'esprit lorsque, déjà arrivé à Perpignan, je songeais à mettre à profit la bonne volonté, les offres de concours de plusieurs de mes compatriotes. Pour éviter que l'observation du mouvement ondulatoire dont il vient d'être question, et sur lequel je voulais diriger l'attention de mes collaborateurs, ne fût influencée par des idées préconçues, je crus ne devoir rien divulguer d'avance, touchant les résultats auxquels je m'attendais. Je me contentai de dire : Portez vos regards sur un mur exposé à la lumière du Soleil, quelques instants avant la disparition de l'astre, quelques instants après sa réapparition, et tenez une note exacte de ce que vous apercevrez. Voici un passage de la lettre que M. Fauvelle m'écrivit le 9 juillet, le lendemain de l'éclipse :

« Au moment où l'éclipse allait devenir totale, je vis les derniers rayons du Soleil onduler fortement et avec vitesse sur la muraille blanche d'un des établissements militaires du rempart Saint-Dominique. L'effet peut être comparé à ce qu'on observe lorsque la lumière solaire

tombe sur un mur ou sur un plafond, après avoir été réfléchie à la surface d'une nappe d'eau agitée.

« Le même phénomène se reproduisit au moment de l'émersion du Soleil. Les ondulations, fortes d'abord, s'affaiblirent graduellement et disparurent tout à fait au bout de 5 à 6 secondes.

« L'observation a été faite en trois points différents par plus de vingt personnes qui le certifieraient au besoin. »

A la citadelle de Perpignan, nous n'apercevions guère que des murs en briques assez éloignés, peu propres à faire ressortir des mouvements de bandes obscures et lumineuses. La façade de la grande tour elle-même, à cause des nuances variées des pierres qui en forment le revêtement, à cause aussi de sa distance, était peu favorable. Toutefois, pendant les 8 ou 10 secondes que nous pûmes donner personnellement à ce genre d'observations, la façade en question nous parut éclairée, quoique le ciel fût très-pur, par une lumière singulièrement vacillante.

Je trouve, dans le Mémoire que M. Eugène Bouvard me remit en revenant de Digne, la note ci-après de M. Savournin, ecclésiastique fort instruit, demeurant à Seyne.

« On a vu ici des ombres et des taches lumineuses courir les unes après les autres, comme paraissent le faire les ombres produites par de petits nuages qui passent successivement sur le Soleil. Ces taches n'étaient pas de la même couleur : il y en avait de rouges, de jaunes, de bleues, de blanches. Les enfants les poursuivaient et essayaient de mettre la main dessus.

« Ce phénomène extraordinaire fut remarqué quelques instants seulement avant la disparition complète du Soleil. »

M. Auguste Attenoux, de Salon, m'écrivit le jour même de l'éclipse, une lettre que je vais reproduire textuellement :

« ... Je m'étais transporté, pour mieux observer l'éclipse. sur une petite élévation qui domine la ville; le ciel était serein, et un petit vent nord-ouest (le mistral), assez frais pour la saison, se faisait sentir, lorsque quelques secondes avant la disparition du dernier rayon solaire, je vis très-distinctement, ainsi que la seule personne qui était auprès de moi, une légère ondulation dans l'air qui suivait, autour de nous, la direction du vent. Ce mouvement n'était nullement semblable à celui que produit l'émission de la chaleur sur un corps métallique fortement chauffé, ou pendant une grande journée d'été à midi, celui que nous voyons à quelques centimètres au-dessus du sol de la Crau. C'était un mouvement ondulatoire bien distinct, bien apparent, et que je puis comparer à celui qu'aurait eu l'eau exposée au même vent dans un grand bassin, en formant quelques vagues assez allongées, se succédant rapidement les unes aux autres. Ce phénomène s'est reproduit après l'apparition subite du Soleil et n'a duré que quelques secondes.

« Plusieurs personnes à qui je viens de faire part de ce fait s'en sont aperçues comme moi, et nous pouvons dire avec hardiesse maintenant que nous avons vu passer le vent. »

Je n'hésite pas à assimiler le phénomène décrit par M. Attenoux à ceux de Perpignan et de Seyne. Il me paraît évident, en effet, quoique la lettre ne soit pas explicite à cet égard, que l'observation a dû être faite en fixant les regards vers le sol ou sur un mur. S'il était vrai que M. Attenoux eût vu les ondulations dont il parle en regardant en l'air, le phénomène, sans changer de caractère, mériterait une discussion à part.

M. d'Hombres-Firmas a publié une relation des observations faites à Alais. On y lit que dans cette ville l'éclipse ne fut pas totale; qu'une portion du Soleil, large d'environ un cinquième de doigt, resta toujours visible; que les personnes qui étaient sur la terrasse du fort, sur la place de la Maréchale, ou sur la grande route, et celles qui se trouvaient près de façades hautes et larges, aperçurent un phénomène curieux. Des bandes alternativement claires et ombrées, très-allongées, parallèles, dirigées de l'ouest à l'est, se dessinèrent sur le terrain ou sur les bâtiments, comme les plis d'un immense rideau; elles semblèrent onduler et rouler...; elles furent d'autant plus apparentes, que le segment solaire visible était plus étroit. » Pour qu'il n'y eût pas d'équivoque possible sur la signification des expressions *bandes alternativement claires et ombrées*, M. d'Hombres-Firmas explique qu'il a entendu parler de lignes ou de traînées de lumière sur un fond ombré.

La petite brochure que M. J. Guérin, ancien directeur du Musée d'Avignon, a fait paraître, renferme, sous le titre de *Phénomène singulier*, un chapitre dont je ne puis me dispenser de citer quelques lignes :

« Plusieurs personnes remarquèrent avec une extrême surprise, sous un ciel calme et sans nuages, pendant les quelques secondes qui suivirent la réapparition du Soleil, des ombres légères se succéder rapidement, poussées du nord au sud avec une apparence de vacillation. On les remarqua principalement dans les lieux unis et découverts.

« .... Ces ombres avaient quelques rapports avec les vagues très-superficielles d'un lac, poussées parallèlement et avec rapidité. »

Le Mémoire de M. Lenthéric, de Montpellier ; celui de MM. Pinaud et Boisgiraud, de Toulouse, nous fourniront deux citations intéressantes relatives au même phénomène :

« Un peu avant le commencement de l'éclipse totale, dit M. Lenthéric, on voyait par terre et sur les murs, des ombres onduleuses composées d'une suite d'arcs de 3 à 4 décimètres de longueur, sur une largeur beaucoup moindre, paraissant tourner sur eux-mêmes. L'effet produit était analogue à ces ombres mobiles qu'on voit sur le fond d'un bassin peu profond plein d'une eau limpide, lorsque la surface, légèrement agitée, est éclairée par les rayons solaires. »

Voici, textuellement, les remarques de MM. Pinaud et Boisgiraud :

« Quelques minutes avant l'éclipse totale, des ombres vagues et mouvantes, semblables à celles que produit un nuage de fumée passant devant le Soleil, se sont dessinées sur le mur de la tourelle gothique (de la cathédrale de Narbonne). Elles marchaient avec assez de vitesse et dans une direction différente de celle du vent. Ces ombres

ont aussi été remarquées en d'autres lieux par les personnes de la ville. Elles n'ont commencé à être visibles que lorsque la lumière qui les engendrait a été suffisamment affaiblie. Il faut les attribuer sans doute à ces courants de vapeur qui ont donné naissance aux mouvements ondulatoires dont nous avons signalé l'existence sur les contours de la partie visible du Soleil [1]. »

Le lecteur s'étonnera avec raison que mon énumération se termine ici, avec les observations faites en France. Il est, en effet, assez étrange qu'un phénomène observé avec tant d'évidence à Perpignan, à Narbonne, à Montpellier, à Salon, à Toulon, à Seyne, à Alais, à Visan, n'ait pas été aperçu dans les nombreuses villes d'Italie, d'Allemagne et de Russie, où tant de personnes habiles s'étaient transportées. Il ne faut pas moins s'étonner du silence des anciens astronomes touchant des accidents de lumière qui, en 1842, furent tellement manifestes, que des enfants y trouvèrent un objet d'amusement. En parcourant page à page les collections académiques, dans le dessein de rendre ce chapitre le moins incomplet possible, je n'ai découvert qu'une seule observation analogue à celles de l'éclipse de 1842; encore aurai-je le regret de ne pouvoir pas la citer en détail, la feuille volante sur laquelle je l'avais consignée s'étant égarée.

Le trait caractéristique du phénomène sur lequel je viens d'appeler l'attention des astronomes, a été indiqué

1. Kepler vit une fois la planète Vénus projeter sur le mur d'une chambre une lumière qui paraissait éprouver des mouvements extraordinaires. Cette observation pourra être utilement rapprochée de celles que je viens de citer.

sur le titre même de ce chapitre : les lumières mobiles deviennent très-apparentes, alors seulement que la portion visible du Soleil, alors que la portion éclairante a des dimensions angulaires très-petites.

Par cette circonstance, le phénomène, quant à sa cause intime, se rattache à celui de la scintillation; on doit l'attribuer à des effets d'interférences. Il en est de même de la coloration signalée à Seyne. Les changements d'intensité que j'ai observés sur les écrans, en plein soleil, je veux dire lorsque aucune partie de cet astre n'était cachée, sembleraient se rapporter plus directement aux circonstances physiques qui donnent naissance au mirage. Quoi qu'il en soit, on ne pourrait aujourd'hui entreprendre l'explication minutieuse de ces phénomènes que d'une manière conjecturale. Il est nécessaire de faire une série méthodique d'observations sur des fractions variables du Soleil. Il sera bon, dans les observations d'éclipses totales, de noter l'intervalle qui s'écoulera entre le moment de l'immersion totale ou celui de l'émersion, et le moment où ces apparitions étranges cesseront d'être aperçues.

CHAPITRE XIX

POLARISATION DE LA LUMIÈRE DE LA COURONNE LUNAIRE PENDANT LES ÉCLIPSES

Lorsque je publiai, quelque temps avant l'éclipse de 1842, des instructions sur les principaux phénomènes qui me semblaient devoir appeler surtout l'attention des astronomes, je m'exprimai en ces termes:

« Il n'est pas probable que la lumière de la couronne lunaire doive offrir des traces de polarisation ; il sera bon, cependant, de s'assurer du fait, à l'aide du polariscope. »

Ce passage n'était pas assez développé. En annonçant d'avance un résultat négatif, j'ai peut-être, à mon grand regret, détourné bien des observateurs de se livrer à la recherche que je leur signalais. Quoi qu'il en soit, voici l'exposé fidèle de nos très-courtes expériences de Perpignan :

Absorbé dans la contemplation du magnifique spectacle qui venait de se dérouler devant nous, et dont la durée devait être, au maximum, de deux minutes et un quart, je ne pensais plus à la polarisation de la lumière. Enfin ce phénomène me revint à la mémoire. Quelques secondes seulement nous séparaient alors de la fin de l'éclipse totale : il n'y avait pas de temps à perdre. Je saisis sur-le-champ un polariscope à lunules placé à côté de moi ; je remis à M. Victor Mauvais un polariscope à bandes colorées, et je me mis à explorer avec mon instrument les environs de l'auréole lumineuse, l'auréole elle-même, et jusqu'à la région atmosphérique qui se projetait sur le disque de la Lune. Partout je vis les deux lunules teintes de ces couleurs complémentaires qui indiquent d'une manière infaillible la présence de rayons polarisés dans tout faisceau soumis à l'analyse délicate de l'instrument. Je n'eus pas le temps de pousser les observations plus loin. Il me fut impossible d'évaluer numériquement l'intensité de la polarisation dans la lumière provenant de la couronne, et cette même inten-

sité dans la lumière correspondant aux deux régions, comparativement obscures, entre lesquelles la couronne brillait. En l'absence de ces déterminations numériques, je n'ai aucun moyen de décider, d'après mes observations, si la lumière de la couronne était polarisée par elle-même. Quant à la polarisation apparente, elle pouvait être la conséquence du mélange de la lumière atmosphérique, provenant de réflexions multiples, avec la lumière directe de la couronne. Si le rôle que jouent ces réflexions multiples dans la distribution et la polarisation de la lumière atmosphérique, ne résultait pas déjà, d'une manière évidente, de mes anciennes recherches, on pourrait apprécier toute son importance par les observations dont il vient d'être question. Durant l'éclipse totale nous avons vu en effet les réflexions multiples ou secondaires porter de la lumière polarisée jusque dans la direction des lignes visuelles qui, sans l'interposition de la Lune, auraient abouti au Soleil.

Voici maintenant les observations de M. Mauvais :

« Pendant l'éclipse totale j'ai dirigé sur la Lune et sur la couronne le polariscope dit de Savart, et j'ai vu les bandes irisées. Le maximum d'intensité correspondait à la position horizontale de ces bndes ; elles étaient très-vives sur la couronne et au delà ; elles paraissaient moins prononcées sur la Lune même. Cependant on les voyait distinctement. »

Supposons qu'aucune illusion d'optique n'ait pu se mêler à ces appréciations de mon confrère ; supposons que les bandes aient été réellement plus vives dans la direction de la couronne que dans celle de la Lune, et,

contre mes prévisions, la lumière de cette couronne aura dû être polarisée par elle-même ! Je sais très-bien que cette polarisation se concilierait difficilement, dans l'état actuel de nos connaissances, avec l'explication de la couronne que les astronomes compétents paraissent le plus enclins à adopter ; mais n'ai-je pas constaté, pendant la dernière éclipse totale de Lune, dans la lumière secondaire rougeâtre qui éclairait cet astre, une polarisation très-sensible, dont il n'est pas moins difficile de rendre compte, quand on veut pousser l'explication jusqu'aux appréciations numériques ?

Le Mémoire de MM. Pinaud et Boisgiraud renferme ces quatre lignes :

« Nous n'avons trouvé aucune trace de polarisation dans la lumière de l'auréole qui environnait le limbe de la Lune pendant l'éclipse totale. Le polariscope dirigé vers cette auréole et dans les régions voisines, n'a donné aucune coloration sensible. »

Que puis-je dire après avoir rapporté ce passage, si ce n'est qu'à Perpignan deux personnes munies d'instruments entièrement différents ont vu, parfaitement vu les couleurs dont les observateurs de Narbonne déclarent n'avoir aperçu aucune trace.

Dans les nombreuses relations que j'ai dû examiner avec l'attention la plus scrupuleuse, je n'en trouve plus qu'une où le mot de *polarisation* figure : c'est la relation publiée par M. Majocchi. J'y lis que M. Alberto Gabba, professeur de mathématiques à Milan, pourvu de tous les appareils nécessaires de polarisation, constata que la lumière de la couronne « était susceptible de se pola-

riser » (la luce dell' anello d'argento è suscettibile d'essere polarizzata). Si c'est mon programme de 1842 qui a donné l'idée de l'expérience faite par M. Gabba, j'aurai à m'excuser de n'avoir pas été plus clair, plus explicite. Il s'agissait, en effet, de décider si la lumière de la couronne était polarisée en arrivant sans aucun intermédiaire à l'œil de l'observateur, et nullement de rechercher si les moyens ordinaires de polarisation, qui réussissent sur toutes les lumières connues, célestes ou terrestres, seraient également efficaces quand on les appliquerait à la lumière de la couronne. J'ose affirmer que ce dernier côté de la question n'était un objet de doute pour aucun physicien.

La polarisation de la lumière des protubérances remarquée par M. Kutczycki, pendant l'observation qu'il a faite à Honolulu de l'éclipse de 1850, ne peut, dans le vague qui accompagne l'observation, conduire à un résultat certain. Il est possible en effet que cette polarisation n'ait été que fictive et la conséquence de la polarisation réelle ou apparente de la lumière de l'auréole sur laquelle les protubérances se projetaient. Les observations faites par MM. Dunkin, Carrington, d'Abbadie, pendant l'éclipse de 1851 [1], sont également insuffisantes pour résoudre le problème si important que j'ai posé. Une étude systématique des phénomènes de polarisation semble devoir être recommandée expressément aux futurs observateurs des éclipses totales.

J'ai cru pouvoir attribuer la polarisation observée en

1. *Astronomie populaire*, t. III, p. 609.

1842 dans la lumière de l'auréole et dans celle qui se projetait sur le corps obscur de la Lune, à la polarisation de la lumière atmosphérique ramenée dans la région de notre satellite par des réflexions multiples. Il est vrai que cette explication ne s'accorde pas avec l'appréciation faite par M. Mauvais, suivant laquelle la polarisation était à son maximum sur la couronne et semblait moins prononcée sur la Lune même.

En se servant de mon polarimètre on lèvera à cet égard tous les doutes. Il faudra : 1° s'assurer si la polarisation existe dans des plans parallèles sur tous les points du contour de la couronne, auquel cas les lunules du polarimètre seront colorées des mêmes teintes, quel que soit le point où le tube soit dirigé, pourvu que dans les diverses observations on ne l'ait pas fait tourner sur lui-même; 2° il faudra déterminer, en visant successivement sur la lumière de la couronne et sur la lumière interposée entre la Lune et l'observateur, l'angle sous lequel la pile de plaques du polarimètre fait disparaître les couleurs des lunules. Il est clair que si l'inclinaison de la pile (comptée à partir de la perpendiculaire) à l'aide de laquelle on obtient ce résultat (la neutralisation) est plus grande lorsqu'on vise à la lumière de l'auréole que lorsque le tube est dirigé sur la Lune, on pourra en conclure que la lumière de la couronne est polarisée par elle-même, et que sa polarisation apparente n'est pas la conséquence de son mélange avec la lumière partiellement polarisée de l'atmosphère. Ce résultat serait capital, mais il ne saurait être établi que par le système d'observation que je viens d'indiquer.

Je rappellerai à ce sujet que pendant l'éclipse totale de Lune du 31 mai 1844, je vis des traces manifestes de polarisation dans la lumière rougeâtre qui était répandue sur le disque lunaire au moment même de la conjonction. Les observations de polarisation, je le répète, me paraissent occuper le premier rang parmi celles qu'on doit recommander aux observateurs des futures éclipses totales.

Peut-être serait-il convenable, lorsque plusieurs astronomes seront réunis sur le même point, qu'ils se partageassent la besogne. En tous cas, ce n'est pas trop du temps de courte durée pendant lequel a lieu l'obscurité totale, pour faire, avec exactitude et d'une manière définitive, les observations de polarisation que je viens d'indiquer.

CHAPITRE XX

SUR LES PROÉMINENCES ROUGEATRES QUI SE MONTRÈRENT EN DIVERS POINTS DU CONTOUR DE LA LUNE, PENDANT TOUTE LA DURÉE DE L'ÉCLIPSE TOTALE DU 8 JUILLET 1842 [1].

Je demandais, naguère, au directeur de l'observatoire de Greenwich, ce qu'il pensait des flammes rougeâtres qui jaillirent de divers points du contour de la Lune pendant l'éclipse de Soleil du 8 juillet 1842. « A vous parler franchement, me répondit l'illustre astronome, je ne crois pas que personne en ait donné une explication satisfaisante. »

1. Les lumières rougeâtres dont il va être question dans ce chapitre ont été appelées : proéminences, protubérances, flammes, nuages, montagnes. Nous ferons usage indistinctement de toutes ces dénominations, sauf à examiner plus tard la nature réelle du phénomène.

Un phénomène dont l'esprit inventif de M. Airy n'a pas triomphé, mérite d'être décrit dans les plus grands détails. J'accomplirai d'ailleurs un devoir, en épargnant aux astronomes la peine que j'ai eue à me procurer les documents nombreux et variés qui se trouvent réunis dans ce chapitre. Toutes les fois que la matière m'a paru l'exiger, j'ai rapporté les paroles mêmes ou la traduction fidèle des paroles des observateurs.

§ 1. — Observations faites en France.

Perpignan. — Lorsqu'en regardant dans ma lunette, de 91 millimètres d'ouverture et d'un grossissement de 56 fois, sans l'intermédiaire de verres colorés, je commençai à voir les deux protubérances lumineuses qui semblaient s'élancer de la région la plus basse du disque lunaire (la lunette renversait les objets), ces protubérances formaient déjà une forte saillie dont la grandeur ne me parut pas varier. Leur teinte était rosacée dans l'ensemble, et d'un bleu verdâtre en quelques points, peut-être par un effet de contraste.

Les contours de ces protubérances étaient parfaitement tranchés. Je remarquai dans la plus grande, vers la gauche, une région qui se terminait par une courbe fortement concave en dehors. Il me parut que ni l'une ni l'autre n'avait une direction normale à la périphérie de la Lune : on aurait dit des montagnes qui devaient inévitablement s'ébouler.

J'estimai que la plus considérable, prise dans le sens de sa longueur, sous-tendait environ 1 minute.

Les remarques de M. Laugier concordent de tout point avec celles qu'on vient de lire. Seulement, mon appréciation angulaire de la principale protubérance serait un peu trop petite.

M. Victor Mauvais ayant accidentellement examiné le bord de la Lune plus tôt que nous ne le fîmes nous-mêmes, aperçut les protubérances quand elles commençaient à naître. Je rapporterai ici textuellement la partie du journal manuscrit de M. Mauvais qui est relative au mystérieux phénomène :

« Quelques secondes après le commencement de l'éclipse totale, comme je cherchais à mesurer la largeur de la couronne lumineuse, je vis apparaître au bord inférieur de la Lune un point rougeâtre qui ne paraissait pas encore former une saillie sensible.

« 56 secondes après l'éclipse totale, le point rougeâtre dont je viens de parler se transforma en deux saillies semblables à deux montagnes contiguës, d'un rouge violacé, parfaitement bien terminées dans leur contour. Elles n'étaient pas d'une coloration uniforme. On voyait sur leurs flancs des traits plus foncés. Je ne puis donner une idée plus exacte de leur aspect, qu'en les comparant aux pics des Alpes, éclairés par le soleil couchant et vus de très-loin. 1 minute 10 secondes après l'éclipse totale on vit une troisième montagne à gauche des deux premières; elle offrait le même aspect pour la coloration. Elle était flanquée de quelques pitons plus petits, mais tous parfaitement définis.

« Pendant la sortie de cette troisième montagne, les deux premières ne cessèrent pas de croître. Elles attei-

gnirent une hauteur qui, d'après mon estime, sous-tendait environ 2 minutes.

« L'intervalle compris entre les deux groupes me parut embrasser sur la Lune un arc d'environ 25 degrés. Le groupe le plus considérable, le plus occidental en apparence, me semblait être de quelques degrés à gauche du point le plus bas du disque lunaire. »

M. Mayette, capitaine du génie, observa l'éclipse à Perpignan avec une lunette grossissant vingt-sept fois. Dans la Note manuscrite que cet officier m'a remise, je lis :

« La partie supérieure du disque lunaire (la lunette ne renversait pas) paraissait surmontée de belles gerbes de flammes rouges, immobiles, à contours très-distincts et très-tranchés. La gerbe septentrionale était inclinée sur le contour de la Lune... Je continuai à voir la gerbe du nord, quelques instants après l'émersion du Soleil. »

A Perpignan, plusieurs personnes virent les protubérances à l'œil nu. Le fait n'est pas douteux.

Montpellier. — Mon ami M. Petit, directeur de l'Observatoire de Toulouse, avait bien voulu, à ma prière, se rendre à Montpellier. Il fit usage d'une lunette achromatique de Cauchoix de 95 millimètres d'ouverture, armée d'un grossissement de vingt-quatre fois. Voici en quels termes il me rendit compte de l'apparition des protubérances lumineuses :

« Les deux points rouges inférieurs se sont montrés les premiers ; le plus occidental (en apparence) avant l'autre. Ils ont grandi graduellement, mais avec rapidité, comme l'auraient fait des objets parfaitement terminés, émer-

geant de derrière le disque de la Lune. Le point situé à droite, vers l'extrémité du diamètre horizontal, s'est développé un peu plus tard, et aussi très-rapidement. On pouvait comparer les formes de ces saillies à celles de pics élevés, vus à travers un verre rouge, et offrant dans leurs flancs des vallées verticales. L'un des monticules surtout était en effet sillonné de traits rouges plus foncés que le reste de l'image. »

En s'aidant d'un réticule à fils fixes placé au foyer commun de l'objectif et de l'oculaire de la lunette, M. Petit trouva 1 minute 45 secondes pour la dimension angulaire de la plus haute des trois protubérances.

La détermination de M. Petit me paraît devoir être considérée comme le résultat d'une véritable mesure. On ne saurait, en tous cas, la confondre avec les évaluations, si incertaines, obtenues, par voie d'estime, dans d'autres lieux.

Très-peu d'instants avant la réapparition du Soleil, M. Petit vit une nouvelle flamme surgir vers le point du disque lunaire où l'émersion allait avoir lieu : celle-ci était blanche.

Narbonne. — Les observateurs de Narbonne, MM. Pinaud et Boisgiraud, ont rendu compte de l'apparition des proéminences rougeâtres, dans les termes suivants :

« Sur le bord supérieur (réel) du disque lunaire, à partir du diamètre vertical, et s'étendant vers l'ouest, ont apparu comme des montagnes de feu, taillées à pic du côté gauche et s'abaissant par pointes aiguës et escarpées du côté opposé. Il y en avait dans cette région trois bien distinctes, dont la première, qui était la plus

élevée, avait une hauteur égale environ au douzième du diamètre apparent de la Lune. Un peu plus loin, à droite, on voyait ramper sur la circonférence du disque lunaire, mais toujours en dehors, plusieurs élévations onduleuses, moins prononcées que les premières, mais également brillantes. Deux pics semblables, moins élevés que ceux de la partie supérieure, et dont les escarpements avaient la même direction, brillaient en même temps, l'un à droite, un peu au-dessous du diamètre horizontal, l'autre à gauche, un peu au-dessus de ce même diamètre. Celui de gauche a été signalé avant tous les autres. Les expressions manquent pour donner une idée exacte de ces montagnes ignées. C'étaient comme des rochers de cristal incandescents, d'une couleur rose tendre, doués d'une sorte de transparence, et brillant d'une lumière calme et sans scintillation; leurs contours étaient bien accusés, leurs arêtes vives et nettement tranchées. Ils ont constamment conservé les mêmes formes, les mêmes positions et une immobilité complète. Seulement les pics de la partie supérieure ont paru grandir un peu à mesure que l'éclipse totale approchait de sa fin; et ils grandissaient, non comme un corps qui s'allonge et se déforme, mais comme des rochers élevés dont on n'apercevait d'abord que les sommets et la partie moyenne, et dont la base devenait visible à mesure que le voile qui la couvrait s'abaissait avec lenteur. Ce magnifique spectacle a persisté jusqu'à la fin de l'éclipse totale. Lorsque le Soleil s'est dégagé de dessous le disque obscur de notre satellite, l'apparition du premier rayon de lumière a été signalée par un éclair très-vif, bien plus intense que le

dernier rayon qui avait brillé avant l'occultation totale. A ce moment, et seulement alors, l'auréole lumineuse qui environnait la Lune, et les pics incandescents qui hérissaient une partie de sa circonférence, se sont subitement éteints dans les feux de l'astre du jour. »

Toulon. — L'observation de Toulon a un intérêt particulier, cette ville n'étant pas très-éloignée de la limite méridionale de la zone terrestre le long de laquelle l'éclipse devait être totale. M. Bérard, capitaine de vaisseau et correspondant de l'Institut, m'en transmit les détails. Ce qui suit est extrait de la Lettre de ce savant officier :

« Pendant tout le temps de l'éclipse totale, on vit au delà du bord de la Lune, près de la région où le Soleil émergea, une bande rouge très-mince, dentelée irrégulièrement, ou comme sillonnée çà et là de crevasses. »

M. Bérard se servait d'une lunette qui grossissait très-peu.

Il me semble évident que la bande rouge dont M. le capitaine Bérard fait mention est précisément le phénomène qui, à Perpignan, à Narbonne, à Montpellier, à Turin, à Milan, etc., se présenta avec des proéminences considérables. Cette assimilation est-elle fondée? Tous les auteurs de relations d'éclipses totales de Soleil ou d'éclipses annulaires, dans lesquelles on parle d'arcs rouges bordant le disque de la Lune, se trouvent avoir vu un diminutif du phénomène qui, en 1842, a si vivement frappé les astronomes. Il n'est pas besoin d'insister sur l'importance qu'aurait cette conclusion. Pour l'appuyer sur une base solide, je me suis attaché à poser des

questions nettes et précises, aux observateurs qui se trouvaient situés, comme M. Bérard, près de la limite méridionale de la zone où l'éclipse fut totale. Je transcrirai ici une partie de la réponse qui m'a été adressée par M. Flaugergues, professeur de sciences appliquées à l'École d'artillerie navale de Toulon. M. Flaugergues s'était établi au fort Lamalgue.

« Peu après l'immersion du Soleil, fatigué d'une observation longue et attentive, je quittai le télescope. Je promenai quelques instants un avide regard sur le spectacle étrange que présentait alors la nature ; mais mon attention et mes yeux furent bientôt ramenés vers les deux astres, par la prévision de ce qui allait se passer à l'émersion. Je n'avais point encore repris le télescope, lorsque je fus surpris par l'apparition d'un point lumineux rouge ; puis d'un second point semblable. A ce moment je ressaisis le télescope, et puis je vis émerger un troisième point lumineux. Mon télescope était armé d'un verre coloré ; ce verre laissait passer les rayons rouges. »

Le nombre des points lumineux aperçus par M. Flaugergues, leur couleur, la région où ils se montrèrent frapperont le lecteur ; tout, dans cette observation, concourt à faire penser que le phénomène du fort Lamalgue, comme celui qui s'offrit à M. Bérard sous la forme d'un arc rouge dentelé, était, avec quelques différences d'aspect dues en partie au grossissement employé, le phénomène des grandes protubérances observé en tant d'autres lieux.

Visan. — M. Guérin, d'Avignon, a fait ses observa-

tions à Visan, par 44° 19′ de latitude nord et 2° 35′ de longitude orientale. Il s'est servi d'une lunette de Dollond, parfaitement achromatique, ayant 1 mètre environ de distance focale, 81 millimètres d'ouverture et grossissant 90 fois. Visan, situé à 5 lieues au nord d'Orange, n'était pas très-éloigné de la limite septentrionale de la zone correspondant à l'éclipse totale, comme on peut le voir dans la carte qui représente la trace de l'ombre de la Lune sur la surface de la Terre (fig. 3, p. 140). Cette circonstance donne un nouveau degré d'intérêt aux remarques de M. Guérin.

Immédiatement après le moment de l'immersion totale du Soleil, « cet observateur vit quelques points crénelés bien apparents, distincts, qu'on aurait pu prendre au premier coup d'œil pour 7 à 8 étoiles de différentes grandeurs, rangées sur le bord du disque où venaient de disparaître les derniers rayons d'une vive lumière.

« Les deux plus grands de ces points, ajoute M. Guérin (leur ensemble occupait, à des éloignements inégaux, une sixième partie de la circonférence du disque), les deux points très-sensiblement crénelés avaient à peine une grandeur égale à la deux-centième partie du diamètre de la Lune (c'est-à-dire 10″). Ils persistèrent, ainsi que les plus petits, tout le temps que l'éclipse fut totale, et disparurent subitement dès que le Soleil se montra... Si la circonférence du disque lunaire avait été bordée en entier de ces points lumineux, elle eût offert l'apparence d'une boîte d'ébène entourée de rubis... Les points étaient plus rouges, mais moins brillants que Mars. »

Digne. — L'observation des protubérances que M. Eu-

gène Bouvard m'a communiquée, diffère par des circonstances essentielles de celles qui ont été faites partout ailleurs. Je vais laisser parler le jeune astronome :

« Pendant que je prenais la mesure de l'auréole, je remarquai dans la partie inférieure apparente du disque de la Lune deux faisceaux lumineux fort curieux. L'un (celui de droite) était d'un tiers au moins plus large que l'autre ; ils étaient tous les deux formés de rayons d'un beau rouge, entremêlés de quelques rayons de couleur orange. Ils allaient en s'élargissant et en s'affaiblissant à mesure qu'ils s'éloignaient du bord de la Lune.

« Ces faisceaux ont été visibles même à la simple vue. Ils ont été aperçus longtemps après la fin de l'éclipse totale. »

Marseille. — On s'étonnerait, à juste titre, de ne pas trouver ici une mention détaillée des observations faites à Marseille par M. Valz, si je ne rappelais que, d'après les Notes qui me sont parvenues, je n'avais pas le droit de considérer comme des protubérances les points lumineux vus par l'habile astronome, et que dès lors j'ai dû analyser son travail dans le chapitre relatif aux lumières intérieures (chap. xv, p. 205).

§ 2. — Observations faites hors de France.

La Superga, près de Turin. — Voici en quels termes M. Airy a rendu compte de l'apparition des protubérances lumineuses :

« Pendant que j'examinais la Lune (après la disparition totale du Soleil), j'aperçus, à ma très-grande sur-

prise, de petites flammes rouges au bord inférieur apparent de cet astre. (Ce bord inférieur était le bord supérieur pour qui regardait à l'œil nu.) Ces flammes étaient au nombre de trois, comme ma mémoire me le rappelle, comme d'ailleurs cela résulte de la représentation que j'en fis sur mon agenda peu de minutes après leur apparition. Elles avaient la forme et la position des dents d'une scie circulaire, destinée à agir dans le sens où tournent les aiguilles d'une montre. Leur hauteur ne surpassait certainement pas le quart de la largeur de l'anneau lumineux, ou environ une minute. La distance entre la première et la troisième de ces flammes embrassait peut-être 40 degrés, ou davantage, sur le contour de la Lune. »

Madame Airy aperçut les flammes à l'œil nu.

Pavie. — Je traduis le passage qui, dans le Mémoire de M. Baily, est relatif aux protubérances rougeâtres :

« La circonstance la plus remarquable de ce phénomène fut l'apparition de trois grandes protubérances, qui formaient évidemment une portion de la couronne, quoiqu'elles parussent émaner de la circonférence de la Lune. Elles avaient l'aspect de montagnes d'une prodigieuse hauteur ; elles étaient d'une couleur rouge, mêlée à du lilas ou à du pourpre ; peut-être serait-on plus près de la vérité, en prenant pour terme de comparaison la couleur de la fleur de pêcher. Ces protubérances me paraissaient quelquefois pareilles aux sommités neigeuses des Alpes, éclairées par les rayons du Soleil levant ou du Soleil couchant. La ressemblance des protubérances avec les sommités alpines avait lieu sous cet autre point

de vue, que leur lumière était parfaitement tranquille, qu'elle n'offrait rien des vacillations, des étincellements qui se montraient si bien dans les autres parties de la couronne.

« Les trois protubérances étaient d'une même couleur rosacée, tranchant également sur la lumière blanche et vive de la couronne, mais elles différaient en grandeur... La plus grande était bifurquée jusqu'à sa base, en telle sorte qu'on aurait été autorisé à y voir deux objets distincts se projetant l'un sur l'autre. »

M. Baily se servait d'une lunette achromatique de Dollond de $1^{m}.07$ de distance focale. Le grossissement était d'environ 40.

Lombardie, Lodi, Milan. — Dans la discussion que les proéminences lumineuses doivent soulever, les astronomes auraient été heureux de se prévaloir des observations faites à Milan par le savant directeur de l'Observatoire de Bréra; mais le Mémoire publié par M. Carlini ne contient pas un seul mot qui soit relatif à ces phénomènes. Ce que nous connaissons touchant les observations faites en Lombardie, nous le devons à un Rapport intéressant, mais très-abrégé, lu à l'Institut milanais, par M. Piola, à un article de la *Gazette privilégiée de Milan* et à un Mémoire de M. Majocchi.

On trouve, dans le Rapport, que M. Piola qui s'était transporté à Lodi près de la ligne centrale, vit trois proéminences; M. Piola les appelle des *radiations triangulaires*, mais il leur donne des côtés curvilignes, convexes vers l'intérieur. Ces triangles, suivant l'auteur de la relation, ne paraissaient lumineux que sur les bords; le milieu

était sombre. M. Piola n'établit pas de distinction de grandeur entre les flammes. Par estime, il porte à 10 degrés du contour de la Lune l'amplitude de la base de chacune d'elles, et au quart du rayon du disque lunaire leur hauteur. Cette hauteur aurait donc été de 4 minutes environ.

Les flammes furent aperçues à Milan, à Brescia, à Novare; mais, dans leurs publications, les observateurs situés dans ces diverses villes parlèrent de deux flammes seulement, et non pas de trois. M. le professeur Majocchi les décrivait en ces termes : « On remarqua, dans la partie supérieure de la Lune, deux points resplendissants, semblables à deux charbons allumés. »

A Milan, MM. le capitaine comte Huyn et le lieutenant Kuhn, de l'état-major autrichien, aperçurent les flammes en se servant d'une lunette et d'un télescope appartenant au cabinet de physique du *Liceo di Porta Nova*. M. Luigi Magrini rendit compte des observations de ces deux officiers, dans la *Gazzetta privilegiata di Milano*, du 9 juillet 1842.

Voici le passage du Rapport du savant professeur, relatif au phénomène en question :

Pendant l'obscurité totale, l'attention des deux observateurs fut attirée par deux proéminences énormes, de forme triangulaire, qui se montrèrent à la partie supérieure de la périphérie de la Lune. Elles avaient un doigt de haut, et un doigt de base (un doigt signifie la douzième partie du diamètre de la Lune). L'intervalle qui séparait les bases était de trois doigts. Des irradiations lumineuses partaient incessamment des bords des deux

triangles. Telle est surtout la circonstance qui rendait le phénomène imposant. »

Dans cette relation, il n'est question, comme on voit, que de deux proéminences.

Padoue. — A Padoue, l'éclipse fut observée par trois astronomes distingués : MM. Santini, Conti et Biela.

M. Santini ayant ôté le verre coloré dont il s'était servi jusque-là pour observer les phases, aperçut deux pyramides de feu très-élevées : la première près de 20 degrés à l'ouest du point le plus haut de la périphérie de la Lune ; l'autre à 40 degrés de ce même point, toujours vers l'ouest. M. Santini compare ces lumières à celles qui proviennent de l'incendie d'une meule de blé ou d'un monceau de roseaux ; il leur donne une couleur purpurine violacée. Le savant directeur de l'observatoire de Padoue attribue aux flammes purpurines une hauteur de plus d'une minute.

Il rapporte que plusieurs personnes les virent à l'œil nu.

M. Santini se servait d'une lunette de Frauenhofer, de $1^{m}.3$ de long, armée d'un grossissement de 85 fois et d'un verre obscurcissant vert jaunâtre.

M. Conti fit usage d'une lunette achromatique de Suttlewort, d'un verre rouge et d'un grossissement de 40 fois.

« A peine, dit cet astronome, le Soleil avait-il disparu, que j'enlevai mon verre obscurcissant. J'aperçus alors, à 50 degrés vers la droite du point le plus haut de la Lune, un trait lumineux qui s'élevait sous une forme pyramidale et prenait une teinte rouge violacée. Une seconde

pyramide, moins considérable, fit ensuite son apparition à 15 degrés vers la droite de ce même point le plus haut. »

On lit dans la relation de M. Conti ces paroles dignes de toute attention : « Les deux pyramides lumineuses restèrent visibles pendant longtemps (*per lungo tempo*), après la réapparition du Soleil ! »

M. Biela s'exprime en ces termes (je traduis) : « Tout à coup on vit surgir de la Lune, vers sa partie inférieure (la lunette renversait), trois pyramides d'un rouge obscur, semblables presque par la teinte à des charbons allumés ; la couleur était, plus exactement, purpurine. Deux de ces pyramides, celles de droite, paraissaient voisines l'une de l'autre ; la troisième, plus grande, se montrait à la gauche des deux précédentes et à la droite du point d'où les premiers rayons du Soleil sortirent.

« Les premiers rayons du Soleil se montrèrent en divers points séparés. Bientôt ces points se réunirent et formèrent une lunule très-déliée. Quelques secondes après la formation de cette lunule, les pyramides rougeâtres cessèrent de se voir. »

Vicence. — M. le professeur Casari, de Vicence, rapporte qu'il a vu jusqu'à douze cônes rougeâtres distribués le long d'un arc d'environ 60 degrés sur la partie supérieure du contour de la Lune. Les uns étaient isolés, les autres réunis en groupes.

On peut constater, sur le dessin de M. Casari, que les deux cônes les plus considérables, à en juger du moins d'après leur position, étaient ceux-là même qui furent observés partout ailleurs.

Mais M. Casari aperçut très-clairement, très-nettement, à ce qu'il rapporte, des choses dont personne autre n'eut le moindre soupçon ailleurs : il vit sur les sommets et les flancs des principaux cônes, des colonnes de vapeur rouge qui, dans leur marche ascensionnelle, se croisaient et paraissaient éprouver une agitation violente, continuelle. « Ces phénomènes, dit M. Casari, me firent penser à un groupe de cônes incandescents, à des volcans qui émettraient des vapeurs rougeâtres par leurs sommités et leurs côtés. »

Venise. — Avant de passer outre, remarquons que Venise, comme Toulon, touchait presque à la limite méridionale de la zone terrestre le long de laquelle l'éclipse totale devait avoir lieu.

J'ai reçu de M. l'abbé François Zantedeschi une relation détaillée des observations faites à Venise le 8 juillet 1842. Dans cette relation, comprenant vingt pages d'impression d'un caractère très-petit et fort serré, il n'y a pas une allusion, même éloignée, au phénomène des langues de feu, pour me servir de l'expression d'un auteur italien.

Vienne. — M. Schumacher s'était rendu à Vienne pour l'observation de l'éclipse. Il fit usage d'une lunette de Frauenhofer de 2m.6 de foyer et de 162 millimètres d'ouverture. Les verres obscurcissants de l'oculaire conservaient au Soleil sa teinte blanche. Nous laisserons maintenant parler le savant directeur de l'Observatoire d'Altona :

« Lorsque, après avoir enregistré l'heure de la pendule et le détail de mon observation, je me remis à la lunette, je vis la Lune entourée d'un anneau de lumière

incolore qui se fondait peu à peu dans le gris du ciel; mais aussitôt mon attention fut attirée par une apparition inattendue. Au premier coup d'œil, je crus voir jaillir des flammes rouges en trois endroits différents du bord de la Lune. Je reconnus pourtant, après quelques moments d'une attention plus calme, que ces flammes apparentes n'étaient point en mouvement. Elles ressemblaient plutôt à des cimes de glacier, brillant d'une lumière vive d'un rouge rosé; ces cimes s'élevaient de 1 à 2 minutes au-dessus du bord de la Lune. Quant au croquis que j'essayai d'en faire immédiatement après l'éclipse, il ne faut pas y chercher une exacte représentation des détails et des dimensions, mais seulement une vue générale de cette belle apparition. Le court intervalle de temps dont il était possible de disposer pour l'examen du phénomène, eût été insuffisant pour en obtenir des mesures exactes et détaillées.

« Je n'ai point remarqué de changement dans la forme ni dans la hauteur de ces montagnes, que je nomme ainsi pour abréger le discours, sans vouloir rien préjuger par là sur leur existence réelle. Je dois ajouter que ma lunette était excellente, et que le verre obscurcissant dont je me servais me laissait voir les détails avec une grande netteté. Malheureusement, le temps que je pus consacrer à un examen bien calme du phénomène fut très-court. Comptons 10 secondes pour la lecture à la pendule et l'écriture des observations; 10 secondes encore pour la période d'étonnement où me plongea cette apparition inattendue, et pendant laquelle je doutais si je voyais bien nettement; 20 autres secondes pour le temps que je

dus employer à me préparer à la réapparition du premier rayon du Soleil ; il reste évidemment, si l'on retranche de la durée totale de l'éclipse ces 40 secondes, 1 minute et 1/4 seulement pour le temps où je suis en droit de dire que je n'ai point remarqué de changement dans ces apparences.

« Peu de temps avant la fin de l'éclipse totale, il s'éleva vers cette partie du disque lunaire d'où devait jaillir le premier rayon de lumière, une étroite couche d'un rouge rosé qui s'étendait peut-être sur un espace de 70 à 80 degrés le long du bord de la Lune, et qui disparut, ainsi que l'anneau lumineux et les montagnes rouges, aussitôt que le premier rayon du Soleil jaillit. »

M. Littrow, directeur de l'Observatoire de Vienne, a eu la bonté de m'écrire plusieurs fois au sujet des protubérances rougeâtres. Ce qu'on va lire est extrait des lettres de l'astronome autrichien :

« Peu de temps après la formation de l'anneau lunaire, des taches lumineuses se montrèrent en plusieurs points du contour de notre satellite. Trois de ces taches furent particulièrement remarquables. Leur teinte était rouge et bleuâtre. Elles ressemblaient beaucoup aux sommités des glaciers dorées par les rayons du soleil levant ou du soleil couchant. Seulement elles ne se terminaient pas en pointe. La plus considérable de ces taches avait, à peu près, cinq minutes, en arc, de hauteur, et deux minutes à sa base.

« Les taches allèrent du blanc au rose et au violet, et repassèrent, en rétrogradant, par les mêmes nuances. Les couleurs présentèrent le maximum d'intensité quand

l'éclipse totale fut au milieu de sa durée. Les couleurs diverses observables sur une même tache, étaient séparées les unes des autres par des lignes droites. Je ne me servais pas de verre coloré.

« ... Je réponds à votre demande en vous assurant qu'il n'y avait pas d'erreur dans mon évaluation des dimensions angulaires des jets lumineux. Le plus grand débordait le contour de la Lune d'à peu près 5 minutes. Sa base était de 2. M. Schaub, assistant de l'Observatoire, a trouvé à peu près les mêmes quantités à la maison de campagne de M. le ministre Kolowrat. Nous avons, l'un et l'autre, pris pour terme de comparaison le champ de la vision des lunettes de Frauenhofer dont nous faisions usage.

« Je dois ajouter deux circonstances importantes à ce que je vous ai déjà transmis :

« Les jets étaient visibles avant qu'ils se colorassent. Ils continuèrent à être visibles après que leur couleur s'était dissipée. La forme des jets resta invariable. »

Russie. — M. d'Ouvarof, ministre de l'instruction publique en Russie, avait libéralement fourni à dix observateurs exercés les moyens de se rendre sur cinq points convenablement situés le long de la bande où l'éclipse devait être totale. Le temps ne favorisa que les observateurs de Lipesk, MM. Otto Struve et Schidlofsky.

M. Schidlofsky se servait d'une lunette de $0^m.57$ de distance focale, de 29 millimètres d'ouverture et d'un grossissement de trente-sept fois.

Ce qu'on va lire est traduit du Rapport de M. Otto Struve :

« M. Schidlofsky observa à la lunette pendant toute la durée de l'éclipse. Peu de temps avant la réapparition du Soleil, un singulier phénomène se présenta à lui. Il vit à plusieurs endroits du disque de la Lune, des flammes rosées qui parurent jaillir subitement; mais pendant le court intervalle de temps que dura l'observation, elles conservèrent la même forme. Ces flammes ressemblaient à des montagnes dont, par estime, la hauteur parut être de 2 minutes; une partie fort grande du disque lunaire paraissait garnie d'une semblable bordure rosée. Au reste, M. Schidlofsky ne put examiner le contour entier de la Lune, car aussitôt après cette apparition le Soleil émergea.

« Si M. Schidlofsky ne remarqua pas ce phénomène, longtemps avant la fin de l'éclipse totale, ainsi que l'ont fait d'autres observateurs, particulièrement ceux de Vienne, cela s'explique facilement par la circonstance qu'il avait, dès le commencement, dévissé et enlevé son verre noir, en sorte qu'il fut ébloui par l'éclat de la couronne brillante dont la Lune était entourée.

« Au reste, je puis citer une observation qui indique que le phénomène se produisit pour nous aussi, dès le commencement de l'éclipse : je crois avoir vu, un instant avant la disparition du dernier rayon solaire, une couche rouge au bord de la Lune, à 45 degrés environ du point où le Soleil disparaissait. »

CHAPITRE XXI

OBSERVATIONS DES PROTUBÉRANCES PENDANT L'ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL DU 8 AOUT 1850

Les protubérances colorées, aperçues sur le bord de la Lune pendant l'éclipse totale de Soleil de 1842, produisirent dans le monde savant une surprise bien légitime. J'ai réuni dans le chapitre précédent toutes les observations de ce phénomène qui m'avaient été transmises. Cette même apparition de protubérances, de flammes débordant considérablement le bord de la Lune, a signalé l'éclipse totale d'Honolulu du 8 août 1850. Laissons parler à ce sujet M. Kutczycki lui-même :

« Je vais rendre compte maintenant du phénomène le plus curieux et le plus frappant de l'éclipse totale de Soleil : ce sont les protubérances roses violacées observées pour la première fois en 1842. Je ne m'explique pas comment les anciens observateurs n'en font point mention. Il faut, ou qu'elles n'aient existé dans aucune des anciennes éclipses, ce qui est peu probable, puisque les voilà observées pour la seconde fois; ou qu'on n'y ait pas fait attention, ce que leur aspect frappant et la facilité avec laquelle on les voit à l'aide des lunettes ordinaires ne me permettent pas d'admettre non plus. La première chose qui m'a frappé, quand j'ai appliqué l'œil à l'oculaire de la lunette dégagé du verre coloré pour examiner le contour de la Lune, c'était la singulière netteté avec laquelle on y voyait les objets. Le bord de la Lune était parfaitement tranchant en noir sans la moindre

ondulation sur la lumière douce de l'auréole; les traits sombres de cette auréole étaient d'une netteté admirable, tandis qu'à d'autres égards la lunette laissait beaucoup à désirer. Sur le champ blanc de perle de l'auréole se détachait au point presque exactement est du disque de la Lune, une protubérance d'une couleur et d'une netteté admirables. Il y en avait une autre plus large parallèlement au bord de la Lune, près de laquelle se trouvait un trait rose très-délié et considérablement plus long. Une troisième moins saillante, mais plus épanouie, se trouvait vers la partie ouest du disque tirant un peu sur le nord. La partie sud et le bas du limbe étaient complétement exempts de tout appendice; c'était cependant là que le disque de la Lune dépassait le moins celui du Soleil.

« La protubérance orientale, la plus remarquable de toutes, avait la forme de la moitié d'une ellipse appliquée par son petit axe contre le limbe de la Lune. Le grand axe normal à ce limbe paraissait être deux fois aussi long que le petit.

« La couleur rose très-légèrement violacée de cette protubérance était plus foncée sur les bords, se dégradait ensuite vers le centre en se perdant, de manière à ne former qu'une ceinture de largeur uniforme qui n'était pas de plus d'un tiers de la base. Le milieu, bleuâtre sur l'axe, se fondait ensuite en blanc, avec l'entourage rose. Le tout imitait parfaitement la flamme d'une bougie, mais paraissait très-fixe et immobile. Aucune aspérité n'existait sur le limbe de la Lune à l'endroit où ce singulier appendice s'en détachait. J'ai tenté de mesurer au micromètre de Rochon la saillie de cette protubérance; j'ai

obtenu la dimension énorme de 3′ 58″. Cette mesure est plus que douteuse; et je me fie plus à l'estime du rapport de sa longueur avec le champ de la lunette qui me permet de fixer à 1′ ou 1′.5 tout au plus cette dimension.

« Une circonstance que j'ai remarquée pendant que je m'efforçais d'obtenir la mesure micrométrique, c'est que l'une des deux images de la protubérance changeait considérablement d'intensité, sans changer de couleur, ni disparaître complétement, quand on tournait la lunette prismatique : sa lumière est donc au moins en partie polarisée. La lumière de l'auréole ne me paraissait pas participer à cet effet. J'avoue que, préoccupé de la mesure avant tout, je ne donnai pas à ce changement d'intensité toute l'attention qu'il méritait; l'existence du fait est cependant parfaitement certaine.

« Les deux autres protubérances avaient le même caractère que celle que je viens de décrire; elles étaient seulement bien moins saillantes et plus épanouies. Au lieu de se terminer en pointe arrondie, elles étaient toutes deux bifurquées, ce qui leur donnait une apparence de flammes. Le trait rose paraissait d'une couleur uniforme sans rien de bleuâtre dans son centre; son épaisseur d'ailleurs ne dépassait pas le sixième de la ceinture rose des autres appendices; sa longueur était plus grande que celle de la protubérance orientale.

« Au second examen, je me suis aperçu incontestablement que la grande protubérance avait diminué et que les autres avaient augmenté de dimension. Je suivis ces changements avec soin et je crois pouvoir affirmer positivement que ces émanations ou appendices provien-

nent du Soleil. Plus tard (au troisième examen), quand l'émersion approchait, les appendices du nord et de l'ouest ont grandi considérablement, et le trait délié, qui se trouvait près de celui du nord, a paru complétement détaché du bord de la Lune ; il s'était lui-même divisé en deux portions séparées par un petit intervalle. Les extrémités tournées vers cet intervalle étaient un peu épanouies, ce qui lui donnait l'aspect de deux petites flèches se présentant les pointes, celle du dehors étant deux fois aussi longue que celle du dedans. Un instant avant l'apparition du Soleil, les deux protubérances nord et ouest ayant encore grandi considérablement, sans cependant atteindre la dimension primitive de celle de l'est, et le trait se trouvant comme je l'ai décrit ci-dessus, il a apparu sur le bord de la Lune, se projetant sur la portion très-lumineuse de la couronne, une multitude de petits points très-rapprochés, de la même couleur rose, et évidemment de la même nature que les appendices plus considérables. Le tout faisait l'effet d'une très-mince ceinture de flammes occupant au moins 60 degrés, dont les sommets roses formaient un cercle rouge vif sur le bord de la Lune avant l'émersion.

« Ce serait peut-être le même cercle rouge vif dont l'apparence a été citée par Louville dans la relation de l'éclipse de 1715. Ce cercle présente avec la colonne très-déliée de fumée que Ferrer a vue pendant l'éclipse totale de 1806, la seule circonstance citée dans les anciennes observations qui se rattache probablement au phénomène curieux dont je fais la description[1].

1. Pour ôter toute incertitude au lecteur, je crois devoir faire

« Ces appendices sont-ils invariablement fixés sur diverses parties de la surface du Soleil? Sont-ils mobiles comme les taches et facules solaires? Voilà deux suppositions à choisir? Si la première était vraie, il faudrait, pour la vérifier et retrouver les appendices à la même place, un concours de circonstances qui ne pourraient se présenter que très-rarement, même dans une multitude d'observations. La seconde supposition me paraît plus probable, parce que d'abord elle est plus d'accord avec la constitution physique connue de la photosphère solaire ; ensuite je trouve dans l'observation même de Honolulu, une circonstance qui l'appuie, et qui peut-être même pourra la prouver positivement. Cette circonstance, la voici : La protubérance orientale était située de manière que l'emplacement qu'elle occupait devait être amené sur le disque quelques jours après l'éclipse par l'effet de la rotation solaire. Je me suis donc attaché à examiner le disque du Soleil dans la région orientale pendant plusieurs jours consécutifs après l'éclipse. Eh bien, le 9 août dans la matinée, j'ai cru apercevoir dans cette région orientale et aussi exactement qu'il est possible d'en juger à l'œil, à la place correspondante à la protubérance, une large facule. L'imperfection de la lunette, qui ne laissait voir que très-indistinctement les facules, jette quelques doutes sur cette assertion, mais elle pourra très-probablement être vérifiée par les observations plus précises qui auront été faites sur les taches et facules dans les observatoires de l'Europe.

observer que toutes les apparences, tant pour la couronne que pour les protubérances, se rapportent à la position réelle des deux astres, non à la position modifiée par la lunette.

J'ai revu la même facule avançant vers le centre du Soleil, le 10 et le 11 août, mais jamais assez distinctement pour me donner une conviction positive. Cela étant, voici non l'explication de ces curieux appendices, mais une supposition très-probable qui se rattache à leur théorie. Les grandes protubérances seraient produites par les émanations des grandes facules et lucules, et varieraient dans leur forme et dimension depuis celle de la moitié d'une ellipse jusqu'à un trait délié, d'après la forme ou la position de la facule ou lucule. De plus, toute la surface du Soleil exhalerait une émanation semblable, produisant une infinité de protubérances excessivement petites, d'où ressort cette bordure de flammes roses que l'on voit un instant avant l'émersion de son limbe. Cette supposition approchera bien de la certitude, si des observations plus exactes que les miennes constatent qu'entre le 7 et le 15 août 1850, il a apparu une facule considérable dans la région est du Soleil. Quant à la petite bordure, je suis désolé de ne pas pouvoir affirmer l'avoir vue dans la région sud-ouest du Soleil après le commencement de l'éclipse totale, mais j'ai l'espoir que son existence continue sera constatée dans les éclipses totales à venir. »

CHAPITRE XXII

DES PROTUBÉRANCES PENDANT L'ÉCLIPSE TOTALE DU 28 JUILLET 1851

J'ai rapporté dans l'*Astronomie populaire*[1], les observations faites sur les côtes de la Suède et de la Norvége,

1. Liv. XXII, chap. XIV, t. III, p. 613.

en Prusse et en Pologne pendant l'éclipse totale de Soleil du 28 juillet 1851. Je me contenterai de rappeler ici ce fait très-important pour la théorie qu'on vit une protubérance située à l'occident du Soleil et de la Lune, qui semblait formée par les deux côtés d'un angle à peu près droit, et ayant, sur le prolongement d'un de ses côtés, un ballon presque circulaire complétement détaché du bord de la Lune et de celui du Soleil. Les particularités de ce phénomène ont été observées spécialement par M. Hind à Ravelsberg, par M. Wolfers à Frauenburg, par M. Otto Struve à Lomsa, par MM. Mauvais et Goujon à Danzig. Il n'est donc pas possible de mettre en doute que les protubérances rougeâtres qui apparaissent vers divers points du contour de la Lune pendant les éclipses totales de Soleil, sont quelquefois complétement détachées des bords des deux astres.

CHAPITRE XXIII

SUR LES CAUSES DES PROTUBÉRANCES. — ANCIENNETÉ DE L'OBSERVATION DE CES PHÉNOMÈNES. — LES PROTUBÉRANCES SONT-ELLES DES MONTAGNES DE LA LUNE, DES MONTAGNES DU SOLEIL, DES NUAGES DE L'ATMOSPHÈRE DE CE DERNIER ASTRE OU DES ILLUSIONS D'OPTIQUE? — SERA-T-IL TOUJOURS INDISPENSABLE D'ATTENDRE POUR LES OBSERVER, LE MOMENT D'UNE ÉCLIPSE TOTALE OU ANNULAIRE?

Je vais examiner dans ce chapitre les diverses causes qui sembleraient pouvoir conduire à des explications plausibles du mystérieux phénomène dont le lecteur connaît maintenant les principaux caractères.

Où existaient les flammes rougeâtres, à contours parfaitement définis, qui dépassaient considérablement le

contour du disque de la Lune pendant toute la durée de l'éclipse totale du 8 juillet 1842 et pendant les éclipses de 1850 et de 1851?

Ces flammes étaient : ou dans le Soleil, ou dans la Lune, ou dans notre atmosphère; à moins, toutefois, que leur refusant une existence réelle, que les assimilant, sous certains rapports, aux arcs-en-ciel, aux halos, aux parhélies, etc., on ne veuille les considérer comme des jeux de lumière, comme des effets de diffraction par exemple[1].

Quelle que doive être la place que la discussion assignera aux protubérances rougeâtres, on se trouvera en face de cette question : Pourquoi le phénomène n'a-t-il été aperçu qu'en 1842? Pourquoi n'en a-t-on pas fait mention dans les descriptions des éclipses totales antérieures?

Ma réponse à la question sera tout autre qu'on ne le

1. J'ai appris, non sans quelque étonnement, que certains observateurs croyaient avoir fait une véritable découverte, pour avoir dit, sans preuves d'aucune sorte, que les proéminences lumineuses étaient des montagnes ou des nuages solaires. Je mettrai fin, en deux mots, aux discussions de priorité dont on a entretenu le public : Il me suffira de montrer que s'il y avait découverte, elle appartiendrait, par la date de la publication, à M. l'abbé Peytal, un des collaborateurs de M. Petit, à Montpellier. Je trouve, en effet, dans le journal de cette ville du samedi 16 juillet 1842, un article du savant ecclésiastique, où les idées en question sont présentées avec beaucoup de netteté.

Voici les propres expressions de M. l'abbé Peytal :

« Jusqu'ici on ne connaissait dans le Soleil que son noyau obscur et ses deux enveloppes, dont la plus extérieure est son disque. On vient d'apprendre aujourd'hui qu'une matière lumineuse d'un rose vif s'élève au-dessus, s'amasse en montagnes d'une prodigieuse hauteur, à peu près comme les nuages de notre atmosphère qui s'amoncellent à notre horizon. »

suppose sans doute : je vais établir que des proéminences lumineuses plus ou moins nombreuses, plus ou moins contiguës, formant des arcs plus ou moins déchiquetés, ont été aperçues en 1706, en 1733, en 1737, en 1748, en 1806, en 1820 et en 1836, avant l'émersion du Soleil, avant du moins l'émersion de la photosphère qui, ordinairement détermine le contour visible de l'astre.

Voici d'abord l'extrait que Flamsteed a publié, dans le xxve volume des *Transactions philosophiques*, d'une lettre du capitaine Stannyan, datée de Berne le 12 mai 1706, jour d'une éclipse totale de Soleil :

« L'émersion du Soleil de dessous le disque lunaire fut précédée, sur le bord de gauche, pendant l'intervalle de 6 à 7 secondes de temps, de l'apparition d'une bande rouge couleur de sang. »

Passons aux observations plus détaillées faites pendant l'éclipse de 1733.

Voici l'extrait d'un Mémoire de Bigerus Vassenius, professeur de mathématiques au collége royal de Gothebourg, sur l'éclipse totale observée dans cette ville, le 2 mai 1733, style julien.

« Pendant toute la durée de l'éclipse totale, j'ai vu, etc., etc. ; mais ce qui doit exciter non-seulement l'admiration, mais encore toute l'attention de la Société royale, ce sont plusieurs taches rougeâtres, au nombre de trois ou quatre, observées en dehors de la périphérie du disque lunaire. Une d'entre elles était plus grande que les autres, et située, autant qu'il me fut permis d'en juger, à égale distance des points du disque tournés vers le midi et l'occident. Elle était composée, pour ainsi dire,

de trois parties ou de trois nuages plus petits, parallèles, et d'inégales longueurs, ayant une certaine obliquité sur la circonférence lunaire. Je fis admirer ce phénomène à mon compagnon, qui avait des yeux de lynx. D'ailleurs, il était si peu habitué à la lunette, qu'il ne pouvait trouver le corps lunaire. Moi-même je revis avec joie, pendant 40 secondes et plus, et occupant toujours la même place dans l'atmosphère[1], près de la circonférence lunaire, cette même tache, ou, si vous préférez, ce nuage immobile. Je ne puis soupçonner aucune erreur provenant de l'œil ou du télescope. Enfin un rayon solaire, parti comme un éclair du limbe boréal de la Lune, mit fin trop tôt à ce spectacle très-agréable, pendant que je cherchais à voir Mercure qui était près de son périgée. » (*Transactions philosophiques*, 1733-1734, t. XXXVIII, p. 134.)

Vassenius se servait d'une lunette de 21 pieds suédois (6m.23) de distance focale.

La relation que Maclaurin a donnée de l'éclipse annulaire du 18 février (1er mars) 1737, renferme ce passage: « Lord Aberdour (il se servait d'un télescope à réflexion, et non d'une lunette) aperçut, le long du bord de la Lune, une bande étroite d'un rouge sombre, immédiatement avant que l'anneau se formât et immédiatement après. » Les deux moments indiqués sont évidemment ceux où le bord de la Lune était presque tangent au bord du Soleil.

Quiconque comparera les lignes précédentes à ce que M. le capitaine Bérard m'a écrit sur l'apparition des flammes en 1842, ne s'étonnera pas que je place lord

1 Vassenius veut parler de l'auréole blanchâtre qu'il prenait pour l'atmosphère de la Lune.

Aberdour parmi ceux qui, anciennement, furent témoins de ce curieux phénomène.

Short observa l'éclipse du 14 juillet 1748, au château d'Aberdour, près d'Édinburgh. Il se servit d'un télescope à réflexion de 4 pieds anglais (1m.22) de foyer et d'un grossissement de 120 fois. Je trouve dans le Mémoire qu'il publia à ce sujet le passage dont voici la traduction : « L'éclipse fut si près d'être annulaire, qu'à l'instant du maximum d'approche, il ne s'en fallait que d'un arc égal au septième de la circonférence de la Lune, pour que les deux cornes se joignissent. A cette époque, nous vîmes nettement, milord Morton et moi, une lumière brune qui bordait (extérieurement) le contour de la Lune, depuis la pointe de chaque corne jusqu'au tiers de la distance qui les séparait, en telle sorte que sur un tiers de cette distance totale, le contour de la Lune n'avait pas de bordure lumineuse. Cette apparence nous tint quelque temps en suspens sur la question de savoir si nous aurions ou si nous n'aurions pas une éclipse annulaire à Aberdour. J'observai à l'extrémité de celui de ces deux arcs lumineux qui venait de la corne occidentale, une plus grande quantité de lumière que partout ailleurs, ce qui d'abord me surprit. »

Short explique qu'en y réfléchissant ensuite, il imagina que cette plus grande quantité de lumière pouvait provenir d'une vallée de la Lune.

Si l'on met de côté l'explication, venue après coup, de la grande quantité de lumière dont parle Short, l'explication qui devait arracher l'habile et savant artiste à un vif sentiment de surprise, personne ne refusera d'assi-

miler le phénomène observé en 1748, à celui de l'année 1842, qui fait l'objet de ce long examen. Il faut remarquer que Short, observant à travers un verre coloré, n'a pas dû parler de la teinte rosacée que pouvait avoir sa grande lumière et la bordure d'où elle jaillissait.

Pour établir que les protubérances lumineuses se montrèrent, en Amérique, pendant l'éclipse totale de 1806, il me suffira, je pense, de transcrire ce passage d'un Mémoire de l'excellent astronome don Joaquin Ferrer :

« Un peu avant (la fin de l'éclipse totale) il apparut (sur le bord de la Lune) une zone offrant l'aspect de nuages éclairés par le Soleil. »

Tout commentaire serait ici superflu.

L'ordre des dates m'amène à faire une citation, tout aussi intéressante au moins que celle dont le lecteur vient de prendre connaissance. Les faits qu'elle relate furent observés par Van Swinden; c'est dire que leur exactitude ne saurait être révoquée en doute.

L'éclipse de Soleil du 7 septembre 1820 fut annulaire à Amsterdam. Peu d'instants avant la formation de l'anneau, à une époque où le disque de la Lune débordait encore quelque peu, dans une certaine région, le disque du Soleil, Van Swinden aperçut un arc lumineux qui allait d'une corne à l'autre, sans être tangent au limbe de la Lune. L'espace compris entre ce limbe et l'arc ne paraissait pas éclairé (*illuminated*). L'arc, mince et rougeâtre, pouvait être comparé, sous le rapport de la couleur et de l'aspect, à l'extrémité de la flamme d'une lampe d'Argand, qui dépasse le sommet de la cheminée en verre.

Je termine cette énumération par la traduction d'un passage emprunté au Mémoire dans lequel M. Bessel a rendu compte de l'éclipse du 15 mai 1836, éclipse qui fut presque annulaire à Kœnigsberg. Voici ce passage :

« 25 secondes environ avant le plus grand rapprochement des centres, j'aperçus, près de l'extrémité de la corne supérieure, un point lumineux qui, sans avoir l'éclat du Soleil, était bien visible avec la puissante lunette de l'héliomètre. Comme les cornes marchaient alors l'une vers l'autre, j'espérais que l'anneau allait se former ; mais cela n'arriva pas. Quant au point dont j'ai déjà parlé, il devint plus lumineux. D'autres points analogues se montrèrent ; ils s'unirent bientôt entre eux et rendirent visible toute la portion du limbe de la Lune qui était comprise entre les extrémités des deux cornes. »

L'illustre astronome de Kœnigsberg ne parle pas de couleurs : il faisait son observation à travers un verre obscur qui peut-être colorait tout en rouge.

Voilà enfin une difficulté entièrement levée : les proéminences lumineuses n'ont pas été un caractère spécial, exclusif, de l'éclipse totale de 1842 ; on avait déjà aperçu antérieurement des phénomènes semblables.

Reprenons maintenant en détail les diverses explications qui, dans l'état actuel de nos connaissances, sembleraient de prime abord satisfaire aux principales circonstances de l'apparition des flammes.

Les proéminences lumineuses étaient-elles des montagnes de la Lune ?

La question a semblé vraiment trop facile aux observateurs qui ont cru la résoudre à l'aide de cette simple

remarque : Les faces des montagnes lunaires qui étaient tournées vers la Terre au moment de l'éclipse, devaient paraître sombres ; les faces opposées des mêmes montagnes recevaient seules alors la lumière du Soleil.

Au lieu de supposer les faces des montagnes lunaires qui étaient situées sur le bord de l'astre, perpendiculaires aux rayons venant du Soleil, donnons-leur une grande obliquité ; concevons, par exemple, deux montagnes dont les faces AB, CD se regarderaient comme la figure ci-contre (fig. 4) le représente, S étant le Soleil et O l'œil de l'observateur.

Les rayons du Soleil S éclaireraient directement la face AB, laquelle, à son tour, illuminerait la face CD, visible de la Terre. Dans notre hypothèse, des montagnes placées sur le bord de la Lune seraient donc, mathématiquement parlant, éclairées, à l'aide de doubles réflexions, sur celles de leurs faces que nous apercevrions au moment même d'une éclipse totale. Maintenant, des faces CD de montagnes pourraient-elles jamais arriver ainsi à l'intensité des flammes rougeâtres de 1842? Ceci est tout autre chose. Je n'hésite même pas à répondre négativement. Cependant il était nécessaire, je crois, de montrer que le problème proposé conduisait inévitablement à une question de quantité, à une question photométrique.

La moindre dimension angulaire que les astronomes situés vers la région centrale de l'ombre aient donnée aux flammes, est une minute. Le jour de l'éclipse totale de 1842, le diamètre de la Lune sous-tendait un angle de 32′ 41″; ce diamètre est de 840 lieues de 4 kilomètres ; une minute correspondait donc à environ 26 lieues et

demie, à 106,000 mètres; or, d'après des mesures directes, il n'y a sur notre satellite aucune montagne dont la hauteur dépasse 7,700 mètres[1]. Transformer les flammes en montagnes lunaires, ce serait nier les résultats les plus certains de la science.

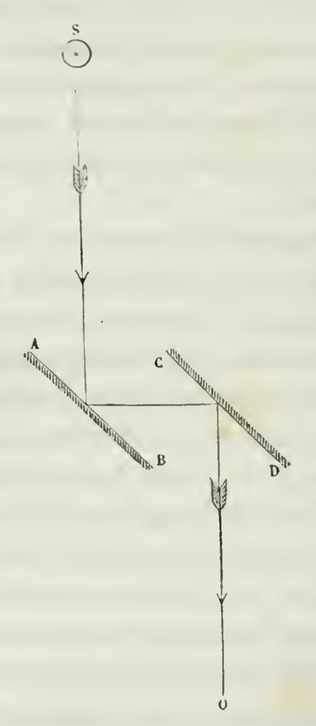


Fig. 4. — Visibilité des montagnes lunaires par double réflexion.

Les flammes n'étaient pas des montagnes, mais, à certains égards, elles en avaient l'apparence. Il reste à rechercher si cette apparence ne pouvait pas être l'effet de

1. *Astronomie populaire*, liv. XXI, chap XX, t. III, p. 446.

déviations particulières que les rayons solaires auraient éprouvées dans les anfractuosités si nombreuses, si diverses, que le bord de la Lune présente toujours à l'observateur situé sur la Terre.

Il est nécessaire que j'entre ici dans quelques explications; sans cela on serait surpris, non sans raison, qu'avant de rechercher comment les flammes pouvaient être de simples illusions d'optique, je n'eusse pas examiné si, en 1842, on les vit en tout lieu avec les mêmes caractères; de manière, par exemple, à pouvoir affirmer que les flammes qu'on aperçut à Perpignan, étaient précisément les flammes observées à Milan, à Vienne, etc. Je déclare donc que je n'avais pas négligé cet examen. Je l'ai abandonné (du moins pour le moment), après avoir reconnu l'impossibilité de concilier toutes les observations, de les faire concourir à une conclusion unique et certaine.

Admettons un moment que les flammes étaient des parties intégrantes du Soleil, implantées, en quelque sorte, dans la périphérie de cet astre. Il put bien arriver que, en vertu de la parallaxe de la Lune, une flamme visible à Perpignan ne se montrât point à l'observateur situé à Marseille, à Visan, etc., etc.; mais il n'est pas moins certain que deux quelconques de ces flammes ayant été visibles dans deux stations différentes, à Montpellier et à Turin par exemple, ne purent manquer de s'y présenter dans les mêmes positions relatives et avec des formes identiques. Or, les relations ne s'accordent pas toutes avec ce principe. Je m'empresse d'ajouter que la brièveté du temps dont les astronomes purent disposer

pour mesurer les protubérances, pour déterminer leur assiette, et, par-dessus tout, que la surprise que chacun éprouva, en 1842, au moment d'une apparition si inattendue, durent beaucoup nuire à l'exactitude des observations.

La lumière peut être déviée de sa marche rectiligne de trois manières différentes : par réflexion, par réfraction, par diffraction. La réflexion, nous l'avons déjà établi, ne saurait donner naissance à des proéminences rougeâtres, suffisamment saillantes et suffisamment intenses; la réfraction semble aussi devoir être exclue de l'explication, à cause de l'excessive rareté de l'atmosphère lunaire. Il faut remarquer toutefois que, si cette rareté extrême repose sur des observations démonstratives en ce qui concerne les régions tangentes aux sommités des montagnes lunaires, rien ne prouve que les vallées ne renferment pas dans leurs profondeurs, des atmosphères de très-peu de hauteur, des atmosphères limitées capables de réfracter sensiblement les rayons lumineux. La question, prise de ce point de vue, méritera une discussion minutieuse; toutefois, je l'annonce sans hésiter, le résultat sera négatif.

Quant à la diffraction, en d'autres termes, quant à l'action particulière, découverte par Grimaldi, en vertu de laquelle les rayons lumineux paraissent éprouver une forte déviation, de dehors en dedans et de dedans en dehors, au moment où ils rasent les arêtes terminales des corps, on s'est assez généralement accordé à lui faire jouer un certain rôle dans les phénomènes généraux des éclipses. Parviendra-t-on jamais à rattacher à la diffraction les proéminences lumineuses de 1842? Cela paraît douteux;

mais la question ne saurait être tranchée sans retour, à l'aide des seules expériences que la science possède aujourd'hui. Jusqu'ici on s'est borné à opérer sur des écrans à formes très-simples, sur des écrans terminés par des lignes droites ; il sera maintenant utile d'étudier les phénomènes engendrés par des écrans triangulaires pleins et creux, par des écrans curvilignes plus ou moins parsemés d'aspérités ; de rechercher enfin, quant à l'intensité et à la coloration, l'influence des distances énormes qui, au moment d'une éclipse, séparent le corps éclairant (le Soleil) de l'écran opaque (la Lune), et cet écran de l'observateur situé sur la Terre. Il ne faudra rien moins que ce travail minutieux pour que la diffraction, s'il y a lieu, soit à tout jamais écartée de l'explication des flammes rougeâtres.

Venons aux hypothèses d'après lesquelles chaque proéminence serait une partie intégrante du Soleil.

En toutes choses, les nombres sont les bases de discussion les plus solides. Cherchons donc à apprécier en nombres les hauteurs des proéminences lumineuses.

De toutes les valeurs angulaires qu'on leur a assignées, la plus certaine me paraît être celle de M. Petit. Les autres, pour la plupart, sont de simples évaluations, entachées des incertitudes qui devaient résulter de l'emploi de grossissements mal connus ou rarement en usage dans les observations astronomiques.

Suivant M. Petit, la principale proéminence sous-tendait un angle de 1′ 45″. L'astronomie nous apprend que le diamètre équatorial de la Terre (3,188 lieues de 4 kilomètres), transporté à la surface du Soleil, serait vu

sous un angle d'environ 17″.2. Prenons un moment les proéminences pour des montagnes solaires ; la plus considérable de ces montagnes aurait, d'après la mesure de l'astronome de Toulouse, 19,000 lieues de hauteur.

Mon évaluation, la moindre de toutes, donnerait encore 11,000 lieues.

En adoptant enfin les appréciations dont M. Littrow a maintenu la vérité, malgré les doutes formels de M. Schumacher, qui, lui aussi, observait à Vienne, on trouverait, pour la plus haute montagne solaire, visible le 8 juillet 1842, une hauteur de 56,000 lieues.

C'est au lecteur à voir s'il peut admettre qu'il existe sur notre Soleil des montagnes s'élevant à ces prodigieuses hauteurs; des montagnes où, d'ailleurs, se montreraient des régions en surplomb; des montagnes qui, d'après ce que nous savons des propriétés des corps pesants, n'auraient pas pu se soutenir d'elles-mêmes.

Les observations des éclipses de 1850 et de 1851 ne permettent plus du reste de supposer que les protubérances lumineuses étaient des montagnes du Soleil et à plus forte raison de la Lune. Les montagnes doivent, en effet, avoir une base, et l'on a vu, en 1850, dans la partie boréale du Soleil, deux traits lumineux et colorés, séparés du bord des deux astres par un intervalle vide ; en 1851 on a vu une sorte d'immense ballon lumineux qui n'avait aucun lien apparent avec la proéminence recourbée voisine.

Je vais recourir de nouveau à des considérations numériques. En discutant encore, de ce point de vue, les observations qui ont été faites en divers lieux, sur la hau-

teur variable des protubérances lumineuses de l'éclipse de 1842, nous arriverons à une conséquence importante.

Imaginons une figure (fig. 5) qui représente les positions relatives du Soleil et de la Lune, pour le moment même où commença l'éclipse totale, dans les points de la Terre où cette éclipse devait être centrale. Le cercle plein est le Soleil, S son centre; le cercle ponctué est la Lune, L son centre.

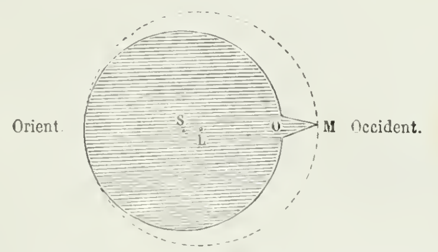


Fig. 5. — Positions relatives du Soleil et de la Lune au moment de l'éclipse totale.

Personne ne l'ignore, le mouvement propre de la Lune s'opère principalement de l'occident à l'orient. Au moment où, en vertu de ce mouvement, le bord oriental de la Lune atteignit, le 8 juillet 1842, le bord oriental du Soleil, l'éclipse fut totale; au même moment, le bord occidental de la Lune débordait, vers l'occident, le bord occidental du Soleil, d'une quantité OM qui, exprimée en minutes et en secondes, se montait précisément à la différence des diamètres apparents des deux astres. Cette différence, le 8 juillet 1842, au moment de l'éclipse totale, était à Perpignan, que je suppose situé dans la région de l'éclipse centrale, de 1′ 16″.6, et à Montpellier de 1′ 17″. Pour qu'une montagne solaire M atteignît au même moment le bord occidental de la Lune, et que son

sommet fût visible, il fallait donc nécessairement que, vue de Perpignan, sa hauteur OM sous-tendît un angle de 1′ 16″.6, et que le même angle pour Montpellier s'élevât à 1′ 17″.

Il n'est pas moins évident, qu'entre le commencement et la fin de l'éclipse totale, la montagne OM ne put varier en hauteur angulaire que de la valeur angulaire de OM, c'est-à-dire que d'une quantité égale à celle dont le diamètre de l'astre éclipsant surpassait le diamètre de l'astre éclipsé. Ce principe posé, venons aux applications :

A Perpignan et à Montpellier, les observateurs virent les points lumineux M émerger du bord de la Lune; ces points n'avaient pas alors des hauteurs mesurables. Quelque temps après (deux minutes), au moment où les deux astres allaient être tangents en O, mon confrère M. Mauvais estima que la protubérance OM avait passé graduellement, d'une hauteur insensible à une hauteur de 2 minutes de degré; M. Petit ne porta l'augmentation de hauteur qu'à 1′ 45″. Ni l'un ni l'autre de ces nombres ne peut se concilier avec la véritable valeur de OM, laquelle, comme nous l'avons vu, était de 1′ 16″.6 à Perpignan et de 1′ 17″ à Montpellier.

Si l'on admettait, comme parfaitement constaté, que dans un certain moment on ne voyait que le sommet M, et qu'ensuite OM sous-tendait un angle de 1′ 45″ ou de 2′, toute explication du phénomène des protubérances, fondée sur l'hypothèse que OM était une montagne solaire, ou même seulement un nuage doué de quelque permanence, serait définitivement écartée. On se verrait ainsi amené à cette alternative :

Les protubérances lumineuses du 8 juillet 1842, semblables sous ce rapport à l'arc-en-ciel, aux halos, aux parhélies, etc., n'étaient pas des objets matériels; ou bien il y avait au-dessus de la photosphère du Soleil, au-dessus de la surface incandescente où se termine ordinairement le contour visible de l'astre, une matière, soit lumineuse par elle-même, soit seulement réfléchissante, qui, en deux minutes de temps, changea considérablement de hauteur, qui, en deux minutes de temps, s'allongea perpendiculairement à la périphérie du Soleil, de plus de 5,000 lieues!

Si nous examinions de plus près l'explication d'après laquelle les protubérances seraient assimilées à des nuages, nous ne trouverions aucun principe de physique qui nous empêchât d'admettre que des masses nuageuses de 25,000 à 30,000 lieues de long flottent dans l'atmosphère du Soleil; que ces masses, comme certains nuages de l'atmosphère terrestre, ont des contours arrêtés; qu'elles affectent çà et là des formes très-tourmentées, même des formes en surplomb, des aspects de masses sans point d'appui; que la lumière solaire les colore en rouge. Nous aurions même, au besoin, dans les observations de M. le capitaine Peytier, un terme de comparaison qui nous montrerait, toute proportion gardée, comment les nuages changent rapidement d'épaisseur dans telle ou telle partie; nous nous rappellerions que, durant son séjour sur les sommités des Pyrénées, cet officier voyait souvent se détacher tout à coup de la couche horizontale de nuages située au-dessous de sa station, des colonnes déliées de vapeur, qui montaient verticalement comme des fusées,

et avec une extrême rapidité. Seulement, en suivant plus loin l'hypothèse que nous examinons, on avait peut-être le droit, en 1842, de s'étonner qu'aucun nuage solaire n'eût été jamais aperçu entièrement en dehors du contour de la Lune. Il est vrai qu'une semblable observation devait trancher définitivement la question ; qu'il ne devenait plus possible d'avoir recours à des montagnes pour expliquer les phénomènes ; que la dénomination de nuage était la seule qui pût être donnée à une masse rougeâtre, isolée, sans base, ne s'appuyant par aucun côté, ni sur la Lune, ni sur la matière radieuse qui détermine le contour ordinairement visible du disque solaire.

Eh bien, cette observation décisive existait, même avant l'éclipse de 1851. Je l'ai déjà rapportée précédemment, page 266 ; c'est l'observation de Bigerus Vassenius.

« Moi-même, dit l'astronome suédois, je revis avec joie, pendant 40 secondes et plus, occupant toujours la même place dans l'atmosphère lunaire, près de la périphérie de la Lune, cette même tache, ou, si vous le préférez, ce nuage immobile. »

Les expressions du Mémoire original, *prope ad peripheriam Lunæ*, semblent écarter toute idée de contact apparent entre la tache rougeâtre et le limbe de la Lune. J'ai néanmoins cherché à découvrir comment elles avaient été comprises du temps de Vassenius ; or, un célèbre académicien suédois, Celsius, qui probablement avait des relations personnelles avec l'observateur de Gothebourg, a écrit une histoire détaillée de l'éclipse de 1733, dans laquelle on lit : « Vassenius vit, dans l'anneau

même, dans la couronne, trois ou quatre petites taches brillantes, de diverses formes, de diverses grandeurs, très-près de la périphérie de la Lune, mais non en contact avec elle. »

Après ce passage, il semble vraiment difficile de conserver quelque doute sur ce fait capital, que les taches de 1733 ne touchaient ni à la périphérie de la Lune, ni à la périphérie du Soleil ; dès lors, elles ne pouvaient être des montagnes. J'ajoute que l'observateur était exercé, qu'il se servait d'une puissante lunette, et qu'il parut sentir tout le prix de sa remarque.

J'en étais à ce point de la discussion, lorsque j'ai eu connaissance d'une observation, faite très-légèrement peut-être, et qui n'en jette pas moins quelque louche sur l'assertion de Vassenius. Celsius apprit de M. Brag, que le pasteur de Marstrom déclarait avoir vu, à l'aide d'une excellente lunette anglaise, lès taches en contact avec le bord de la Lune.

Il fallait donc définitivement en appeler à de nouvelles observations ; elles ont été faites en 1851.

Les observations dont il vient d'être question ne sont pas un simple objet de curiosité. Il est possible qu'elles conduisent à de très-utiles conséquences.

D'après l'état actuel des connaissances astronomiques, le Soleil se compose : 1° d'un globe central à peu près obscur ; 2° d'une immense couche de nuages qui est suspendue à une certaine distance de ce globe, et l'enveloppe de toutes parts ; 3° d'une photosphère, en d'autres termes, d'une sphère resplendissante qui enveloppe la couche nuageuse, comme celle-ci, à son tour, enveloppe

le noyau obscur. Les éclipses de 1842, 1850 et 1851, ainsi que je l'ai fait voir dans une autre Notice[1], nous ont mis sur la trace d'une troisième enveloppe située au-dessus de la photosphère, et formée de nuages obscurs ou faiblement lumineux.

La première enveloppe nuageuse, et la photosphère dont elle est recouverte, éprouvent quelquefois des déchirements nombreux qui se correspondent, et permettent de voir à nu le corps obscur central : le disque du Soleil paraît alors parsemé de taches noires. La photosphère, examinée avec attention, semble pointillée ; elle ne présente pas un éclat uniforme ; souvent des traînées d'une intensité extraordinaire, des facules, sillonnent en divers sens les régions de l'astre voisines de son équateur.

On n'a pas trouvé jusqu'ici que les taches, que les facules solaires, exercent, à raison de leur nombre ou de leur grandeur, une action bien notable sur les températures terrestres. En serait-il de même des nuages de la troisième enveloppe, de ces nuages imparfaitement diaphanes, peut-être, qui s'interposeraient entre la photosphère et nous ; qui arrêteraient une proportion sensible de la lumière et de la chaleur solaires ; qui, en tout cas, pourraient être l'indice d'un état particulier de la photosphère, d'un état particulier de la région d'où la chaleur et la lumière émanent principalement ? Il est permis d'en douter. Si cette troisième enveloppe existe, elle donnera peut-être la clef de quelques-unes des

1. Sur la constitution physique du Soleil et des étoiles, p. 125 de ce volume.

grandes et déplorables anomalies que l'on remarque dans le cours des saisons [1].

Je vais, sans plus tarder, au-devant d'une observation qu'on ne manquerait pas de faire : A quoi bon soulever aujourd'hui des questions qui ne seront peut-être pas résolues dans un siècle? Si les nuages de la troisième enveloppe solaire ne deviennent visibles qu'au moment des éclipses totales, il faudra, attendu la rareté de ces phénomènes, des milliers d'années pour vérifier toutes ces conjectures ; l'observation des nuages solaires ne deviendra jamais un moyen usuel de prévoir quelque temps à l'avance, des augmentations ou des diminutions de température.

La valeur de cette argumentation repose tout entière sur l'hypothèse que les nuages solaires ne seront visibles dans l'avenir, comme ils ne l'ont été par le passé, que pendant des éclipses totales ou presque totales. Or

1. Dans la nombreuse catégorie des taches du Soleil, quelle est la place qu'occuperaient les nuages de la troisième enveloppe? Peut-être ces nuages produisent-ils les pénombres isolées, les pénombres sans noyau. Les taches de ce genre ne sont pas très-communes; jamais leur étendue totale n'est une partie aliquote considérable de la surface solaire. Dans cette hypothèse, ce serait donc comme symptôme d'un état particulier de la photosphère, que l'observation régulière des nuages aurait de l'importance. Il faudra aussi examiner quel devrait être l'aspect du disque du Soleil, si la photosphère de cet astre était hérissée, çà et là, de parties saillantes cylindriques, coniques ou pyramidales, d'une hauteur considérable (le seizième, par exemple, du diamètre du Soleil), et si la matière de ces parties était identique avec celle de la photosphère. Des suppositions très-admissibles conduiraient à trouver, dans cette constitution de l'astre, l'origine de certaines facules. On arriverait aussi à des facules pour résultat, si l'on faisait les nuages lumineux par eux-mêmes et diaphanes.

je crois pouvoir établir avec quelque probabilité que dans certains lieux, si l'on s'entoure de toutes les précautions convenables, l'observation de ces nuages pourra se faire, par un ciel serein, tous les jours de l'année.

Pourquoi ne voyons-nous pas les étoiles et les planètes à l'œil nu, le jour comme la nuit?

Parce que, le jour, l'atmosphère à travers laquelle nous parviennent les rayons des étoiles et des planètes est éclairée ; parce que la lumière solaire, réfléchie alors vers l'observateur par l'atmosphère, efface les lumières débiles qui se joignent à elle.

Pourquoi les étoiles et les planètes sont-elles d'autant plus difficiles à apercevoir que leur place dans le ciel approche davantage de la région occupée par le Soleil?

Parce que la lumière atmosphérique est beaucoup plus intense près du Soleil que loin du Soleil.

Tout ce qui affaiblira la lumière atmosphérique favorisera donc l'observation des étoiles et des planètes.

On concevra maintenant sans difficulté comment les proéminences rougeâtres (montagnes ou nuages), qui dépassent la périphérie de la Lune, sont totalement invisibles en plein jour, et très-aisément visibles, au contraire, pendant la durée d'une éclipse totale. Dans le premier cas, leurs images au fond de l'œil se projettent sur la rétine vivement éclairée; dans le second cas, elles n'ont à prédominer, pour être aperçues, que sur la faible lumière de la couronne blanchâtre dont la Lune est entourée.

Pendant les éclipses partielles, ce qui reste visible est tantôt la moitié, tantôt le tiers, tantôt le quart,...,

tantôt le dixième, etc., de la surface totale du Soleil. Les autres circonstances étant égales, l'éclat de l'atmosphère en tous ses points varie suivant les mêmes rapports, du moins pour ce qui provient d'une seule réflexion; ainsi l'intensité de la lumière atmosphérique, dans la zone étroite qui entoure le limbe circulaire du Soleil, dans la zone étroite sur le prolongement de laquelle existent les proéminences rougeâtres, doit se réduire, suivant les cas, à la moitié, au tiers, au quart,..., au dixième de l'intensité ordinaire. Or ces réductions peuvent être suffisantes pour rendre visible ce qui d'abord ne l'était pas. Il faut donc espérer que les éclipses partielles fourniront aux astronomes l'occasion d'acquérir des notions nombreuses et précises sur les nuages solaires.

Il suffira de deux mots pour détromper ceux qui, sans un examen suffisant, déclareraient mes espérances mal fondées : je rappellerai que lord Aberdour, Short et Van Swinden aperçurent des proéminences rougeâtres pendant les éclipses, seulement annulaires, de 1717, de 1748, de 1820, et qu'en 1842, M. Mayette à Perpignan, MM. Conti et Biela à Bologne, continuèrent à les voir après l'émersion du Soleil, malgré l'éblouissement auquel personne n'échappe en passant brusquement des ténèbres à la lumière.

Faisons un pas de plus :

Tout ce qui affaiblira sensiblement l'intensité éclairante de la portion d'atmosphère terrestre qui paraît entourer et toucher le contour circulaire du Soleil, pourra contribuer à rendre les proéminences rougeâtres visibles. La théorie, d'accord en cela avec les observations des voya-

geurs, nous apprend que l'atmosphère, vue du sommet d'une haute montagne, d'une montagne isolée surtout, doit paraître extrêmement sombre : on a parlé de ciel effrayant, de ciel noir comme un four, de ciel qui permettait de voir, en plein midi, les principales étoiles; mais, dans la matinée du 8 juillet 1842, le ciel ne fut jamais plus sombre que celui dont on nous fait de pareilles descriptions ; le 8 juillet 1842, au moment de l'obscurité totale. les yeux les plus pénétrants aperçurent cinq ou six étoiles au maximum ! Il est donc permis d'espérer qu'un astronome exercé, établi au sommet d'une très-haute montagne, pourrait y observer régulièrement, tous les jours, les nuages de la troisième enveloppe solaire, situés, en apparence, sur le contour de l'astre ou un peu en dehors; déterminer ce qu'ils ont de permanent et de variable; noter les périodes de disparition et de réapparition; recueillir enfin des données qui peut-être jetteront un grand jour sur les questions les plus obscures de la météorologie.

Pendant le temps où les astronomes observèrent commodément les flammes en 1842, le Soleil était entièrement caché par la Lune; mais rien n'empêcherait de placer au foyer d'une lunette un écran métallique circulaire qui produirait exactement le même effet. Une monture parallatique, une horloge entraînant la lunette suivant le mouvement diurne, compléterait l'appareil. Les nuages solaires se montreraient au delà du bord de la plaque, comme ils se montrèrent, en 1842 et 1851, au delà du bord de la Lune; les facilités d'observation qui pouvaient dépendre directement de l'absence de l'image solaire,

seraient, par l'effet de l'interposition de la plaque, ce qu'elles étaient en 1842 et en 1851, à cause de l'interposition de notre satellite.

Je m'exposerais à voir mes projets d'observation taxés de pures chimères, si je ne relevais pas quelques-unes des erreurs singulières qu'on a commises en essayant d'expliquer la non-visibilité habituelle des proéminences solaires. Voici ce que je trouve dans une brochure, fort répandue, de deux professeurs de physique :

« Les montagnes du Soleil, si elles existent, n'étant qu'une petite fraction de la masse entière de l'astre, n'envoient à la Terre qu'une lumière incomparablement moindre que celle du globe entier de cet astre ; par conséquent, elles doivent disparaître dans la vive lumière qui nous vient de son disque, surtout lorsqu'on en éteint l'éclat par l'interposition de verres noirs. »

Supposons ce raisonnement juste, et le système d'observations que je proposais pour observer la constitution du Soleil sera complétement renversé : il n'est, en effet, au pouvoir de personne, de faire que les proéminences ne soient pas une petite fraction de la masse entière du Soleil. Heureusement, sans entrer dans aucune discussion technique, je puis faire remarquer que les facules, que les pénombres, que les parties contiguës, lumineuses et sombres du pointillé, se voient parfaitement, s'observent sans difficulté, quoique le pointillé, les pénombres et les facules soient une petite fraction de la masse (lisez surface) entière du Soleil.

Il m'en coûterait de faire ressortir, sans une nécessité absolue, l'erreur étrange que j'aperçois dans le passage

du Mémoire des deux professeurs qui est relatif à l'interposition de verres noirs. Je me contenterai, pour le moment, d'opposer un fait patent à une assertion contraire aux principes les plus évidents de la science :

A Vienne, M. Schumacher aperçut et étudia les proéminences rougeâtres, à travers le verre coloré qui lui avait servi à observer les phases de l'éclipse.

J'ai indiqué ailleurs [1] les artifices particuliers à l'aide desquels un astronome exercé, se débarrassant d'une multitude de fausses lumières, sait assombrir considérablement le champ d'une lunette dirigée vers le Soleil, ou seulement vers les régions qui entourent l'astre. J'ajouterai ici qu'après avoir mis ces artifices en usage, on est arrivé à voir des étoiles et des planètes très-près du Soleil.

Le 19 mai 1821, le capitaine Kater aperçut Vénus près de sa conjonction supérieure, lorsque la planète n'était éloignée du centre du Soleil que de 65′ 50″, et, conséquemment, lorsque la distance au bord atteignait à peine 50′.

Le 26 mai 1821, Wollaston vit le même astre à 53′ 15″ du centre du Soleil, et à 37′ du bord. Il se servait d'une lunette qui avait seulement 7 pouces anglais de long (0m.18), et moins de 1 pouce (0m.025) d'ouverture.

Enfin, le 30 mai 1805, Vidal, de Toulouse, avait aperçu Vénus à 46 minutes du centre du Soleil et à 30 minutes du bord. Que parlez-vous de Vénus? dira-t-on; il s'agit des proéminences, et non de cette resplendis-

1. *Astronomie populaire*, liv. XIV, chap. XI, t. II, p. 121 à 126.

sante planète. Voici ma réponse : Je n'ai pas trouvé que pendant les éclipses totales, anciennes ou récentes, les planètes voisines du Soleil aient été fréquemment, aient été facilement observées ; je n'ai pas remarqué, par exemple, qu'à l'occasion de l'éclipse de 1842, on ait beaucoup fait mention de Mars qui alors n'était pas très-loin de sa conjonction. Or, pendant cette même éclipse, beaucoup de personnes ont vu à l'œil nu les proéminences rougeâtres se dessiner nettement sur l'auréole nacrée et très-brillante dont la Lune était entourée. Ce simple rapprochement justifie, si je ne me trompe, toute assimilation qu'on aurait besoin de faire, quant à l'éclat, entre les proéminences et les planètes.

Après s'être étendu sur les discussions savantes qui avaient surgi à l'occasion de l'auréole observée autour de la Lune pendant l'éclipse totale de 1715, et aussi à l'occasion de certaines lueurs serpentantes, remarquées sur diverses parties du disque, etc., Fontenelle disait :

« Si l'on ne s'était mis en peine, dans cette éclipse, que de ce qu'il y avait de purement astronomique, on en aurait été quitte, pour ainsi dire, à bon marché. Mais on s'est attaché aussi au physique, et il a produit à son ordinaire beaucoup de difficultés et d'incertitudes. »

En 1842 et en 1851, les difficultés, les incertitudes n'ont pas été moindres qu'en 1715 ; seulement, le cadre de l'astronomie s'étant élargi, personne ne dirait aujourd'hui qu'en cherchant dans les phénomènes quelques notions nouvelles sur la constitution physique du Soleil et de la Lune, on s'est jeté dans le physique. La manière dont les sciences se développent est trop bien appréciée,

pour qu'un esprit droit pût, à notre époque, s'affliger en voyant des difficultés sortir de l'examen approfondi d'une question : des difficultés bien définies, des difficultés nettement caractérisées sont des demi-découvertes. En tous cas, les études auxquelles je viens de me livrer montreront que je ne me résigne pas aisément à renvoyer la solution des problèmes astronomiques à des époques indéfiniment éloignées.

NOTICE

SUR

LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

[La Notice sur la polarisation de la lumière a été écrite en 1824 pour l'*Encyclopédie britannique;* la traduction en anglais en a été faite par le docteur Thomas Young et elle est insérée dans le tome XVIII de ce grand ouvrage.

Voici sur les circonstances dans lesquelles cette Notice a été faite une lettre adressée de Metz par M. Arago au docteur Thomas Young, et dont l'illustre auteur a laissé la minute annexée à son manuscrit.

« Mon cher confrère,

« J'aurais bien de la peine à vous exprimer combien je fus contrarié en revenant de Calais à Paris d'apprendre que vous en étiez parti ; je ne le suis pas moins maintenant, puisque madame Arago m'annonce que vous êtes fâché au vif contre moi. Le fait paraît certain ; reste à savoir quels sont les motifs. On dit que je n'ai pas *daigné*

répondre à votre dernière lettre. Ce mot *daigné* m'avait paru, je l'avoue, singulier sous votre plume, surtout en songeant qu'il s'adressait à une personne qui a publiquement, sans réserve, en toutes circonstances, professé l'admiration la plus franche pour vos travaux et pour votre caractère. Aussi m'étais-je flatté qu'il était la traduction inexacte d'un mot anglais qu'on avait mal entendu ; mais cette ressource même m'est enlevée : la lettre où ce mot se trouve est écrite en français. Il me reste donc à me résigner et à essayer de prouver que je ne suis pas aussi coupable qu'on l'imagine.

« Je vous ai déjà fait une histoire détaillée de mes relations avec M. Napier au sujet de cet article *Polarisation* dont je désirerais bien maintenant n'avoir jamais entendu parler. J'ai constamment réclamé un temps suffisant ; on a toujours répondu à mes demandes en m'assignant de si courts intervalles qu'ils n'auraient seulement pas suffi à la lecture des nombreux Mémoires qui ont été publiés sur cette branche de la physique. Je sollicite enfin comme dernière faveur d'être autorisé à exposer les phénomènes de la polarisation dans l'article *Réfraction* (*double*) ; on ne répond ni oui ni non, mais seulement que je ne gagnerais rien à ce changement, attendu que les syllabes comprises entre PO et RE sont très-pauvres.

« Je voulais renoncer; des motifs d'amour-propre puisés, je l'avouerai franchement, dans vos flatteuses sollicitations, m'engagèrent à essayer de remplir vos vues. Je m'occupai donc sans relâche à recueillir les matériaux, mais je n'avais encore fait que fort peu de progrès quand les ordres du ministre de la guerre m'envoyèrent à Metz

où je suis encore maintenant, occupé du matin au soir à examiner des officiers.

« Vous me demanderez ce que je veux conclure de tout cela. Le voici. Premièrement : que je ne pouvais pas répondre catégoriquement à votre lettre avant d'avoir essayé si j'aurais un temps suffisant pour répondre à vos vues, et que je n'ai point mérité que vous employassiez le mot *daigner* ; deuxièmement, qu'il ne serait pas possible de rédiger l'article, comme je le conçois du moins, dans le peu de temps qu'on paraît disposé à m'accorder. Pour vous prouver toutefois ma bonne volonté, je vais vous proposer un arrangement contre lequel il serait bien difficile, ce me semble, d'élever quelque objection. Je m'engage, malgré toute la répugnance que cette condition m'avait anciennement inspirée, à rédiger l'article dans les limites que vous m'assignerez ; dès lors, je n'arrêterai pas l'ouvrage ; M. Napier pourra me réserver l'espace convenu, continuer l'impression et le tirage des articles suivants. Comment serez-vous sûr, me dira-t-on peut-être, de donner à votre article les limites convenues à une ligne près, quand on songe surtout qu'il devra être traduit? Je réponds que vous serez parfaitement le maître de supprimer ce qu'il vous plaira, et mieux encore, que l'article devant être terminé par des tables, on pourra toujours, en leur donnant plus ou moins d'étendue, remplir l'espace à un mot près. Examinez, je vous prie, ma proposition, jugez-la et *daignez* me faire connaître votre opinion et celle de M. Napier. Si vous l'adoptez, je me mettrai à l'ouvrage tout de suite ; dans le cas contraire, je ne pourrais pas me charger du mot *Polarisation de la lumière*.

Faire une histoire parfaitement impartiale de la polarisation, élaguer toutes les superfétations, n'est pas l'œuvre d'un jour, et malheureusement Fresnel, sur lequel vous comptiez pour m'aider, ne pourrait m'être d'aucun secours, puisqu'il ne lit pas les langues étrangères. »

M. Arago avait fait recopier son manuscrit en 1852 et il avait l'intention de mettre son travail au courant des dernières recherches faites dans cette partie de l'optique. Sa mort prématurée ne lui a pas permis de réaliser ce projet.

La Notice sur la polarisation est donc exactement conforme au manuscrit de 1824. Quelques tableaux de chiffres restés en blanc et quelques calculs inachevés sur le manuscrit ont été remplis ou exécutés conformément au texte anglais de l'*Encyclopédie britannique.*]

CHAPITRE II

DÉFINITION D'UN RAYON POLARISÉ

Jusqu'à ces dernières années la plupart des physiciens, la presque totalité des géomètres, s'étaient accordés à regarder les rayons de lumière comme composés de molécules extrêmement petites que les corps lumineux lançaient dans toutes les directions avec de très-grandes vitesses. Quant à la forme de ces molécules, elle était restée indéterminée. Cependant comme il résultait d'une ancienne observation que certains rayons ne jouissent pas des mêmes propriétés sur tous les points de leur contour, il

fallut assimiler leurs parties élémentaires à de petits aimants, les supposer douées de pôles. Dès lors on appela *rayon polarisé* tout rayon modifié de manière que les propriétés polaires des molécules y fussent manifestes.

Nous commencerons cette Notice en décrivant les divers moyens qu'on a découverts pour polariser les rayons.

CHAPITRE III

DE LA DOUBLE RÉFRACTION CONSIDÉRÉE COMME MOYEN DE POLARISER LA LUMIÈRE

Supposons qu'un pinceau de lumière naturelle, c'est-à-dire venant directement d'un corps lumineux sans avoir éprouvé ni réfraction ni réflexion, tombe sur un cristal de carbonate de chaux, perpendiculairement à une face naturelle ou artificielle. Ce faisceau éprouvera, en général, une bifurcation en pénétrant dans le cristal : une moitié de la lumière incidente continuera sa route en ligne droite, conformément aux lois ordinaires de la réfraction; l'autre moitié présentera le phénomène le plus étrange : elle se mouvra dans le cristal suivant une direction oblique à sa surface, quoiqu'elle provienne d'un rayon qui lui était perpendiculaire. La première moitié s'appelle *faisceau* ou *rayon ordinaire;* la seconde, *faisceau* ou *rayon extraordinaire.* Le plan qui passe par ces deux faisceaux est évidemment perpendiculaire à la face du cristal; il joue un grand rôle dans les phénomènes de la polarisation; on le désigne par le nom de *section principale.*

On voit, d'après cette définition, qu'à chaque rayon lumineux, qu'à chaque point d'incidence sur un cristal

donné, correspondra une section principale; il importe seulement de remarquer que toutes ces sections seront parallèles entre elles. Dans un rhomboïde de spath d'Islande la section principale coupe les faces naturelles suivant une ligne parallèle à la diagonale menée par les angles obtus du parallélogramme et divisant celui-ci en deux parties égales.

Les rayons ordinaires et extraordinaires acquièrent dans le cristal des propriétés nouvelles que ne possède pas la lumière directe. Pour le démontrer, il suffira de décrire ce que chacun de ces rayons éprouve quand il rencontre un second cristal doué de la double réfraction. Occupons-nous d'abord du rayon ordinaire, de celui qui a pénétré dans le cristal, en ligne droite, sans se réfracter.

Si la section principale du nouveau cristal est parallèle à la section principale de celui que le rayon ordinaire a d'abord traversé, ce rayon n'y éprouvera pas la double réfraction; il suivra uniquement, sans se diviser, la route ordinaire. Si les sections principales des deux cristaux sont rectangulaires, le rayon qui était ordinaire dans le premier, deviendra extraordinaire dans le second, c'est-à-dire qu'il s'y réfractera, quoiqu'il tombe perpendiculairement sur ses faces. Enfin quand les sections principales ne seront ni perpendiculaires ni parallèles, ce même rayon ordinaire éprouvera toujours la double réfraction dans le second cristal; mais les deux rayons auxquels il donnera naissance auront des intensités inégales, excepté dans le seul cas où les sections formeront entre elles un angle de 45 degrés.

Le faisceau extraordinaire offre des phénomènes ana-

logues. Il reste faisceau extraordinaire dans tout cristal dont la section principale est parallèle à celle du cristal d'où il provient; il devient rayon ordinaire quand ces sections principales sont perpendiculaires; il se partage en deux faisceaux également vifs, si les deux sections principales font entre elles un angle de 45°, et dans toute autre position il donne toujours deux faisceaux, mais d'intensités dissemblables.

La vérification expérimentale de ces résultats est très-aisée. On tend horizontalement sur une table une feuille de papier noir, on y trace suivant des directions rectangulaires deux lignes droites très-fines et au point de leur intersection on forme une tache blanche d'une certaine dimension. On pose sur le papier un rhomboïde de spath calcaire; alors plaçant l'œil verticalement au-dessus de la tache, on aperçoit deux images qui sont situées sur une ligne droite parallèle à la petite diagonale de la face supérieure du rhomboïde. L'une de ces images se voit dans le lieu même où le point blanc existe, comme on le reconnaît facilement par les deux lignes droites rectangulaires qui y aboutissent et dont les prolongements dépassent le cristal; les rayons qui la forment n'ont pas dû se réfracter, c'est donc l'image ordinaire. Les autres rayons s'étant brisés, puisque prolongés ils ne passent pas par le point blanc, déterminent l'image extraordinaire.

Sur ce premier cristal placez-en un second de manière que les petites diagonales des faces en contact soient parallèles, vous n'observerez encore que deux images du point blanc; mais elles seront plus écartées. L'une se verra dans la direction même où le point existe;

d'où il résulte que les rayons qui la forment ne se réfractent pas plus dans le second cristal qu'ils ne l'avaient fait dans le premier, ou qu'ils sont toujours restés rayons ordinaires. Quant à la seconde image, puisqu'elle est plus écartée de la place réelle du point lorsqu'on l'observe à travers les deux cristaux superposés, c'est une preuve que les rayons déjà réfractés extraordinairement dans le rhomboïde inférieur, ont éprouvé le même genre de réfraction en traversant l'autre cristal.

Si l'on fait tourner lentement le rhomboïde supérieur autour de la verticale, de manière à écarter sa section principale de celle de l'autre cristal, chacune des précédentes images se partagera en deux autres. Les deux nouvelles images seront d'abord très-faibles; leur intensité augmentera graduellement aux dépens de celle des images primitives, à mesure que l'angle des deux sections principales deviendra plus grand; enfin quand cet angle sera de 90°, les images primitives auront tout à fait disparu et il ne restera plus que les images nouvelles. L'une de celles-ci paraîtra éloignée du point blanc matériel, dans la direction de la courte diagonale du rhomboïde supérieur, d'une quantité à peu près égale à la valeur de la double réfraction de ce rhomboïde, c'est-à-dire tout autant que si le second cristal n'existait point. Cette image est donc évidemment formée par des rayons réfractés ordinairement dans le premier cristal et extraordinairement dans le second. On verra tout aussi aisément que l'autre image provient, au contraire, de rayons réfractés d'abord extraordinairement et ensuite ordinairement dans les deux rhomboïdes superposés.

Comme il est difficile de se procurer des rhomboïdes épais de carbonate de chaux bien diaphanes, on peut répéter les mêmes expériences à l'aide de deux prismes taillés dans des cristaux doués de la double réfraction et qu'on achromatise en les combinant avec des prismes de verre ordinaire placés en sens contraire; à travers ces deux prismes achromatiques superposés, l'image d'une bougie paraît quadruple ou double, suivant les positions relatives des sections principales. On reconnaît alors bien nettement que les images qui disparaissent ne se confondent pas avec les deux autres, car on les voit s'affaiblir graduellement pendant que les autres augmentent d'intensité par les mêmes degrés.

En résumé :

1° La lumière directe se partage toujours en deux faisceaux dans son passage au travers d'un cristal de carbonate de chaux; au contraire, la lumière dont l'un quelconque de ces deux faisceaux se compose, soumise à l'action d'un semblable cristal, dans quelques positions particulières de la section principale, ne se partage pas, ne donne qu'un faisceau unique;

2° Les deux images fournies par la lumière directe ont toujours des intensités égales; la lumière des faisceaux ordinaire ou extraordinaire, quand elle éprouve la double réfraction, donne presque constamment des images d'intensités dissemblables.

L'acte de la double réfraction a donc imprimé à cette dernière espèce de lumière de nouvelles propriétés par lesquelles on peut toujours la distinguer de la lumière naturelle. Ces propriétés, au demeurant, sont-elles de

nature à ne pouvoir s'expliquer qu'en admettant que les molécules élémentaires des rayons ont des pôles? C'est ce que nous allons examiner.

Nous supposerons qu'un rhomboïde de carbonate de chaux soit placé horizontalement, que la lumière incidente rencontre sa face supérieure perpendiculairement, et que la section principale, qui sera verticale, soit dirigée du nord au sud, qu'elle coïncide, en un mot, avec le plan méridien. On voudra bien remarquer que nous ne prenons des positions aussi particulières du rayon et du cristal que pour fixer les idées.

Le faisceau ordinaire provenant de ce cristal, soumis à l'action d'un nouveau rhomboïde semblablement placé, c'est-à-dire dont la section principale soit aussi verticale et située dans le plan du méridien, le traverse, comme on a vu, sans se réfracter; il continue sa route en ligne droite, il reste rayon ordinaire.

Mais quand la section principale, toujours verticale, du second cristal, sera dirigée de l'est à l'ouest, le rayon ordinaire provenant du premier rhomboïde s'y réfractera, quoique tombant perpendiculairement sur sa surface; il y deviendra rayon extraordinaire.

Dans le premier cas, la section principale du second rhomboïde coupait le rayon, ou si l'on veut, les molécules lumineuses qui le composent, du nord au sud; dans le second, ces molécules étaient coupées de l'est à l'ouest. On remarquera, du reste, qu'il n'y avait que cela de changé de l'une à l'autre expérience, puisque le rayon analysé rencontrait toujours le même point matériel du second cristal et sous la même inclinaison. Il faut consé-

quemment que dans ce rayon ou dans les éléments dont il est formé; les côtés nord et sud n'aient pas les mêmes propriétés que les côtés est et ouest.

Quand c'est le faisceau extraordinaire qu'on analyse avec le second cristal, si la section principale coupe ce faisceau du nord au sud, il éprouve la réfraction extraordinaire; il suit, au contraire, la route ordinaire lorsque ce même plan le coupe de l'est à l'ouest. C'est précisément tout le contraire que nous avions trouvé en analysant le faisceau ordinaire. Les côtés nord et sud de ce faisceau ont donc les propriétés des côtés est et ouest du faisceau extraordinaire et réciproquement; ces deux faisceaux ne diffèrent qu'en cela; les côtés doués de propriétés analogues sont seulement diversement orientés; en sorte que si l'on faisait faire au rayon extraordinaire, provenant d'un cristal quelconque, un quart de révolution sur lui-même, il serait impossible de le distinguer du faisceau ordinaire.

Quand les physiciens disent d'un aimant, naturel ou artificiel, qu'il a des pôles, ils entendent seulement par cette expression, que certains points du contour de l'aimant sont doués de propriétés particulières que ne possèdent pas du tout, ou que ne possèdent pas du moins au même degré, les autres points du contour. On a donc pu, avec autant de raison, dire des rayons ordinaires et extraordinaires provenant du dédoublement de la lumière naturelle dans le cristal de carbonate de chaux, qu'ils avaient des pôles, qu'ils étaient polarisés. Il faudra seulement remarquer, pour qu'on n'étende pas au delà des bornes légitimes l'analogie du rayon polarisé et d'un

aimant, que sur chaque élément de ce rayon, les côtés ou pôles diamétralement opposés (les pôles nord et sud du rayon ordinaire, par exemple, dans la position particulière que nous donnions au rhomboïde) paraissent avoir l'un et l'autre exactement les mêmes propriétés. C'est à 90° de ces deux points, sur une droite perpendiculaire à la ligne qui les joint, qu'on trouvera sur le même rayon des pôles doués de propriétés différentes. Mais si l'on compare ensemble les deux faisceaux provenant d'un cristal donné, les pôles doués des mêmes propriétés y seront placés dans deux directions rectangulaires.

Considérons encore une dernière fois les deux rayons provenant d'un cristal dont la section principale, pour fixer les idées, coïnciderait avec le plan du méridien; il n'y a aucune raison plausible d'assigner de préférence la dénomination de pôles aux côtés nord et sud du rayon ordinaire plutôt qu'aux côtés est et ouest. Cependant, comme il fallait faire un choix, on s'est généralement accordé à appliquer le nom de pôles aux côtés nord et sud. Dès lors on a dit que le rayon ordinaire est polarisé dans le plan de la section principale, ce qui exprime que les divers éléments de ce rayon ont les faces que nous avons appelées des pôles situées dans ce plan. Quant au rayon extraordinaire, il est polarisé perpendiculairement à la section principale; c'est, en effet, perpendiculairement à cette section que les pôles du rayon extraordinaire sont situés, puisqu'il devient parfaitement semblable au rayon ordinaire, si on lui fait faire un quart de révolution sur lui-même.

Parvenu à ce point, on se demandera sans doute s'il

faut admettre que le dédoublement de la lumière dans le cristal a donné des pôles aux molécules, ou si l'on doit supposer que des pôles préexistants ont seulement été tournés vers les mêmes régions de l'espace? Cette question est très-difficile à résoudre; on trouvera plus loin, sinon une démonstration de la seconde hypothèse, du moins des motifs plausibles pour l'adopter. Ici nous nous contenterons de faire remarquer que la modification éprouvée par les rayons est entièrement indépendante de la nature du cristal, pourvu qu'il double les images, et que tous les phénomènes que présentent deux rhomboïdes de spath calcaire superposés se reproduiraient dans leurs plus petits détails, si l'on combinait, par exemple, un de ces rhomboïdes avec un cristal de carbonate de plomb; si le premier cristal était de soufre et le second de quartz, de sulfate de baryte, etc., etc.

Au reste, ce n'est pas seulement dans les phénomènes de la double réfraction que se manifestent les propriétés particulières des rayons polarisés. La réflexion de ces espèces de rayons sur des miroirs diaphanes donne aussi les moyens de les distinguer des rayons ordinaires.

Quand un faisceau de lumière naturelle rencontre un miroir diaphane sous une inclinaison quelconque, il se partage en deux parties : l'une traverse le miroir, l'autre se réfléchit. Cette dernière est toujours contenue dans un plan passant par la direction du faisceau primitif et par la normale au point d'incidence. Ce plan s'appelle *plan de réflexion*. Il importe de le bien distinguer du plan sur lequel la réflexion s'opère et qu'on doit nommer *plan réfléchissant*.

Cela posé, plaçons verticalement la section principale d'un cristal doué de la double réfraction ; faisons-le traverser perpendiculairement à ses faces par un faisceau de lumière ordinaire ; recevons les deux faisceaux émergents qui en résulteront sur une nappe d'eau horizontale, et supposons que le faisceau ordinaire fasse avec la surface du liquide un angle de 37° 15′. Ce faisceau éprouvera une réflexion partielle comme l'eût fait la lumière directe, tandis que le faisceau extraordinaire, quand son angle d'incidence sera aussi de 37° 15′, pénétrera tout entier dans le liquide sans qu'aucune de ses molécules se réfléchisse, caractère qui distingue bien nettement ce dernier faisceau de la lumière naturelle.

Toutes les circonstances de l'expérience restant les mêmes, faisons faire un quart de révolution au cristal autour des rayons qui le traversent. Ce mouvement amènera la section principale dans un plan perpendiculaire à sa position primitive. Alors, sous l'inclinaison de 37° 15′, ce sera le seul faisceau ordinaire qui traversera le liquide en totalité. L'autre éprouvera une réflexion partielle exactement égale à celle que nous avions premièrement trouvée dans le rayon ordinaire : nouvelle preuve que ces deux rayons ne diffèrent que par la manière dont sont orientés ceux de leurs côtés qui jouissent de propriétés semblables.

Dans toutes les positions de la section principale intermédiaires entre ces deux positions extrêmes, les deux faisceaux éprouveront l'un et l'autre une réflexion partielle d'autant plus forte pour le faisceau ordinaire que la section principale sera plus près de coïncider avec le

plan de réflexion, et pour le rayon extraordinaire, que ces deux plans feront entre eux un angle plus voisin de 90°.

Nous terminerons ce chapitre en rapportant la loi mathématique qui paraît lier les intensités comparatives des faisceaux ordinaire et extraordinaire en lesquels la lumière polarisée se décompose quand on l'analyse avec un cristal doué de la double réfraction.

Soient F_o l'intensité du faisceau ordinaire provenant d'un cristal quelconque, F_{oo} et F_{oe} les intensités des faisceaux ordinaire et extraordinaire auxquels le premier faisceau ordinaire donnera naissance en traversant un second cristal. Soit i l'angle des deux sections principales, on a alors :

$$F_{oo} = F_o \cos^2 i, \quad F_{oe} = F_o \sin^2 i.$$

Voyons ce que ces formules deviennent dans quelques cas particuliers.

Si $i = 0$, on a $\cos^2 0 = 1$, $\sin^2 0 = 0$, et par conséquent on a $F_{oo} = F_o$, et F_{oe} est nul ;

Si $i = 90°$, on a $\cos^2 90 = 0$, $\sin^2 90 = 1$, et par conséquent F_{oo} est nul, et on a $F_{oe} = F_o$;

Si $i = 45°$, on a $\cos^2 45 = \sin^2 45 = \frac{1}{2}$, et par conséquent $F_{oo} = \frac{1}{2} F_o$, et on a $F_{oe} = \frac{1}{2} F_o$.

Ces trois conséquences des formules sont, comme on a vu, conformes aux observations; on ne sera toutefois en droit d'affirmer que ces formules sont mathématiquement exactes qu'après qu'on les aura aussi vérifiées pour quelques valeurs de i intermédiaires entre les limites 0, 45° et 90°.

Les formules correspondantes au rayon extraordinaire

sont tout aussi simples que les précédentes. F_e étant l'intensité de ce rayon; F_{eo} et F_{ee} les intensités des deux faisceaux ordinaire et extraordinaire en lesquels il se décompose dans un cristal, i conservant sa première signification, on aura :

$$F_{eo} = F_e \sin^2 i \quad \text{et} \quad F_{ee} = F_e \cos^2 i.$$

Si on a $i = 0$, il vient $F_{eo} = 0$, et $F_{ee} = F_e$.

Et en effet il n'y a pas alors de rayon ordinaire, tout suit la route extraordinaire.

Si on suppose $i = 90°$, il vient $F_{eo} = F_e$, $F_{ee} = 0$.

Ce que l'observation confirme encore, puisque le rayon extraordinaire venant d'un certain cristal ne suit que la route ordinaire en en traversant un autre dont la section principale est perpendiculaire à celle du premier. On trouvera le même accord entre le calcul et l'expérience quand i est 45°; ce qui n'empêche pas que, pour les valeurs intermédiaires de cet angle, les formules, comme celles du rayon ordinaire, n'aient encore besoin d'être vérifiées par des expériences directes.

CHAPITRE IV

DE LA RÉFLEXION CONSIDÉRÉE COMME MOYEN DE POLARISER LA LUMIÈRE

La réflexion sur des miroirs diaphanes fournit, comme nous venons de voir, un criterium propre à faire distinguer les rayons polarisés des rayons ordinaires. Nous

devons ajouter qu'elle est aussi un moyen de polariser la lumière.

Faites tomber, par exemple, un pinceau de rayons naturels sur un miroir de verre ordinaire et horizontal, de manière que l'inclinaison comptée à partir de la surface du miroir soit de 35° environ. Une partie du pinceau traversera le verre; l'autre se réfléchira. La portion réfléchie est polarisée comme le serait le faisceau ordinaire sortant d'un cristal dont la section principale coïnciderait avec le plan de réflexion.

En effet, si l'on analyse cette lumière partiellement réfléchie, à l'aide d'un cristal dont la section principale coïncide avec le plan de réflexion, elle ne s'y bifurque pas, on n'obtient qu'une image ordinaire. Ce même faisceau réfléchi ne se divise pas davantage en traversant le cristal quand la section principale est perpendiculaire au plan de réflexion; seulement il donne alors une image extraordinaire. Dans toute autre position on a à la fois image extraordinaire et image ordinaire. L'intensité de celle-ci est exprimée par la formule $F \cos^2 i$ dans laquelle F est l'intensité totale du faisceau sur lequel on opère et i l'angle que la section principale du cristal forme avec le plan de réflexion. Cette formule, comme on voit, coïncide avec celle que nous avons donnée pour le faisceau ordinaire dans le cas de deux cristaux superposés. Le plan de réflexion fait ici l'office de la section principale du premier cristal; c'est donc dans ce plan que le rayon s'est polarisé en se réfléchissant.

Avant d'affirmer toutefois qu'il y a identité entre l'espèce de polarisation que la réflexion partielle opérée sous

certains angles à la surface des corps diaphanes imprime à la lumière, et celle qui résulte de la double réfraction, il faut soumettre le rayon polarisé par une première réflexion à l'épreuve de réflexions nouvelles.

Ces secondes réflexions rejetteront évidemment la lumière de haut en bas, si le miroir est au-dessus du rayon ; de bas en haut, s'il est au-dessous; de droite à gauche, si le miroir se présente au rayon par sa face de droite; en sens contraire, s'il se présente par la face de gauche.

Quand le second miroir est au-dessus ou au-dessous du rayon, de manière que le nouveau plan de réflexion coïncide avec l'ancien, il y a réflexion partielle sous toutes les incidences. Quand, au contraire, ce miroir se présente au rayon par sa droite ou par sa gauche et de telle sorte que le nouveau plan de réflexion soit perpendiculaire au premier, toute réflexion cesse dès que l'inclinaison est de 35° environ. Dans les positions intermédiaires du miroir et sous l'inclinaison constante de 35° à peu près, l'intensité de la réflexion varie proportionnellement au carré du cosinus de l'angle que l'ancien et le nouveau plan de réflexion forment entre eux.

La moindre attention montrera combien cette expérience a de rapports avec l'une de celles que nous avons exécutées à l'aide d'un rhomboïde. Pour voir alors si le rayon ordinaire avait les mêmes propriétés sur tous les points de son contour, nous donnions au cristal un mouvement de rotation autour du rayon, de manière à placer successivement la section principale, et conséquemment les pôles qu'elle renferme, de haut en bas, de droite à

gauche, etc.; c'est dans ces diverses positions que nous faisions tomber le rayon sur un miroir diaphane. Ici, nous avons laissé le premier plan réfléchissant immobile, et c'est le second qui a tourné autour du rayon, qui a été présenté à ses divers côtés. Cette épreuve est évidemment analogue à la précédente, et le résultat est identique.

Nous pouvons donc affirmer maintenant que le rayon qui se réfléchit à la surface supérieure d'un miroir de verre sous l'angle de 35° environ jouit à tous égards des mêmes propriétés que le rayon qui proviendrait d'un cristal dont la section principale coïnciderait avec le plan de réflexion.

Nous avons employé, dans cette expérience, un miroir diaphane; mais nous devons ajouter qu'il existe des corps opaques, tels que le marbre noir, l'ébène, des vernis, etc., qui sont également doués de la propriété de polariser les rayons qui se réfléchissent sur leur surface. Ces corps en tournant autour d'un rayon polarisé se comportent dans les phénomènes de réflexion comme s'ils étaient diaphanes.

CHAPITRE V

DES RAYONS PARTIELLEMENT POLARISÉS

On appelle rayons partiellement polarisés des rayons qui jouissent de propriétés pour ainsi dire intermédiaires entre les propriétés de la lumière ordinaire et celles de la lumière complétement polarisée. Ces rayons se distinguent de la lumière polarisée, en ce qu'ils donnent tou-

jours deux faisceaux dans leur passage au travers d'un cristal doué de la double réfraction; ils diffèrent de la lumière naturelle en ce que ces deux faisceaux n'ont pas toujours l'un et l'autre la même intensité dans toutes les positions de la section principale de ce même cristal.

Voyons si un faisceau partiellement polarisé ne pourrait pas être censé formé d'une portion A de lumière polarisée et d'une portion B de lumière naturelle. Celle-ci se partagerait toujours par parties égales entre le faisceau ordinaire et le faisceau extraordinaire, dans son passage à travers un cristal doué de la double réfraction; l'autre passerait quelquefois tout entière soit au premier, soit au second faisceau.

Dans une certaine position de la section principale les intensités comparatives des deux faisceaux ordinaire et extraordinaire seraient donc $\frac{1}{2}$ B + A et $\frac{1}{2}$ B.

Après avoir fait faire un quart de révolution au cristal on ne trouverait que $\frac{1}{2}$ B de lumière dans l'image ordinaire tandis que l'autre en renfermerait $\frac{1}{2}$ B + A.

Dans toutes les positions de la section principale autres que les précédentes, A se distribuerait entre les deux images.

La portion de A contenue dans l'image ordinaire serait toujours donnée par la formule $A \cos^2 i$, i étant l'angle compris entre le plan de polarisation de la lumière et la section principale du cristal.

Quand i égalerait 45°, les deux images auraient la même intensité.

Toutes ces conséquences de l'hypothèse dont nous sommes partis sont conformes à l'expérience. Il est donc

permis de supposer qu'un rayon partiellement polarisé se compose de deux portions de lumière distinctes, l'une B naturelle, l'autre A totalement polarisée.

Dans tout faisceau réfléchi perpendiculairement sur un miroir diaphane, et alors seulement, la portion A est nulle. Ensuite cette portion acquiert des valeurs de plus en plus considérables à mesure que l'angle compris entre le rayon incident et la normale s'agrandit. Sous l'inclinaison que nous avons appelée celle de la polarisation complète, B est égal à 0, A compose la totalité du faisceau réfléchi. Aussitôt que l'inclinaison devient plus forte, il existe de nouveau dans ce faisceau de la lumière naturelle B et de la lumière polarisée A. Enfin quand les rayons incident et réfléchi rasent, pour ainsi dire, la surface du miroir, A se trouve une seconde fois très-faible relativement à B.

Sous aucune inclinaison, les miroirs métalliques ne polarisent complétement les rayons qu'ils réfléchissent. Comme pour les miroirs diaphanes on a $A = 0$ dans l'incidence perpendiculaire. Dans tout autre angle, A devient sensible, c'est-à-dire que la lumière est partiellement polarisée. On appelle angle de polarisation d'un métal celui dans lequel le quotient $\frac{A}{B}$ devient un maximum.

Il existe aussi des corps diaphanes tels que le diamant, le soufre, etc., qui n'impriment jamais de polarisation complète à la lumière par la réflexion sur leur surface, mais le rapport $\frac{A}{B}$ y acquiert du moins de beaucoup plus grandes valeurs que pour les métaux.

On n'a pas encore découvert de loi mathématique qui lie l'intensité de A à l'angle d'incidence et à la force

réfringente du miroir. On sait seulement qu'à égales distances angulaires au-dessus et au-dessous de l'angle de la polarisation complète le rapport de A à A + B est presque le même, quoique les valeurs absolues de A et de B puissent avoir beaucoup changé.

Ainsi, sur le verre de Saint-Gobain, par exemple, où la polarisation complète a lieu quand l'inclinaison du rayon comptée à partir de la surface est d'environ 35°, on trouve que les faisceaux réfléchis renferment la même proportion de lumière dans les angles suivants :

	65° 42′	63° 54′	60° 18′
	et 7 12	et 7 55	et 11 40
Moyenne...	36° 27′	35° 55′	35° 59′

Sur l'eau, le rapport de A à A + B est à peu près le même dans les angles 3° 29′ et 73° 48′ ; la moyenne des deux 38° 36′ ne surpasse guère que d'un degré et un quart la véritable inclinaison de la polarisation complète, quoiqu'elle soit déduite d'angles qui en diffèrent de plus de 30 degrés.

De même que les astronomes déterminent l'instant du passage d'un astre au méridien par des hauteurs correspondantes observées avant et après ce passage, on pourrait donc obtenir avec assez de précision l'angle de polarisation complète par la demi-somme des inclinaisons correspondantes à des polarisations partielles équivalentes, surtout en ayant soin de ne pas trop s'éloigner de l'angle cherché. Ce procédé n'est pas sans utilité quand on opère sur des corps qui sous aucune incidence ne polarisent complétement les rayons.

CHAPITRE VI

DES LOIS QUI RELIENT LES POUVOIRS RÉFRINGENTS DES CORPS AUX ANGLES DE POLARISATION

Il suffit de jeter un coup d'œil sur les tables que les physiciens ont publiées des angles où la polarisation du rayon réfléchi est complète pour des corps de diverse nature, pour voir que ces angles comptés à partir de la verticale, approchent d'autant plus de l'angle droit, que la puissance réfractive de ces corps est plus forte ; mais il n'était pas si aisé de reconnaître la liaison remarquable qui existe entre ces deux éléments et que je vais exposer.

Quand un rayon de lumière IO (fig. 6) passe du vide

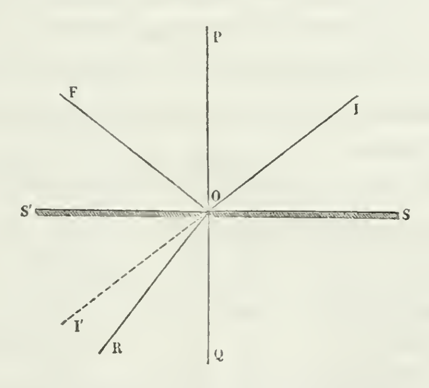


Fig. 6. — Théorème de la détermination de l'angle de polarisation complète.

dans un certain milieu SS′, il se brise au point d'incidence O ; au lieu de suivre les directions OI′ prolongement de IO, il s'approche de la perpendiculaire PQ et suit, par exemple, la direction OR; les angles POI et QOR sont

pour chaque milieu liés entre eux par cette proportion : sin POI : sin QOR :: m : 1, dans laquelle m conserve toujours une valeur constante, quels que soient les angles POI et QOR. Cette quantité m, toujours plus grande que l'unité, s'appelle *l'indice de réfraction* du milieu. Il importe de ne pas la confondre avec le pouvoir réfringent, expression numérique fonction de m et de la densité du corps, qui est déduite de considérations particulières à la théorie de l'émission.

Cela posé, si IO est la direction que doit avoir le rayon incident pour que le rayon réfléchi OF soit complétement polarisé, la tangente trigonométrique de l'angle d'incidence sera égale à l'indice de réfraction.

Voici une table où se trouvent placés en regard les angles de polarisation déterminés par l'expérience et ceux qui résultent du théorème général que je viens d'énoncer. Les discordances ne sont pas au-dessus des erreurs inséparables de ce genre d'observations.

Noms des corps.	Angles de polarisation totale observés.	Angles calculés.	Différences.
Air	45° à 47°	45°	1° 0′
Eau	52° 45′	53 11′	— 0 26
Spath fluor	54 50	55 9	— 0 19
Obsidienne	56 3	56 6	— 0 3
Sulfate de chaux	56 28	56 45	— 0 17
Cristal de roche	57 22	58 58	+ 0 24
Topaze	58 40	58 34	+ 0 6
Cristal d'Islande	58 23	58 51	— 0 28
Rubis spinelle	60 16	60 25	— 0 9
Zircon	63 8	63 0	+ 0 8
Verre d'antimoine	64 45	64 30	+ 0 15
Soufre	64 10	63 45	+ 0 25
Diamant	68 2	68 1	+ 0 1
Chromate de plomb	67 42	68 3	— 0 21

Le principe que j'ai rapporté est susceptible de deux autres énoncés curieux. J'ai dit que sous tous les angles sin POI : sin QOR :: m : 1 ; on a donc toujours sin POI $=m$ sin QOR ; mais dans l'angle de la polarisation complète, tang POI $=m$, or

$$\operatorname{tang} \mathrm{POI}=\frac{\sin \mathrm{POI}}{\cos \mathrm{POI}};$$

donc, dans le cas de la polarisation complète, on a

$$\frac{\sin \mathrm{POI}}{\cos \mathrm{POI}}=m \text{ et } \sin \mathrm{POI}=m \cos \mathrm{POI},$$

équation qui ne peut se concilier avec la valeur générale de sin POI $=m$ sin QOR qu'en faisant sin QOR $=$ cos POI, c'est-à-dire qu'en supposant QOR $+$ POI $=90°$. Donc *si la polarisation est complète, les angles d'incidence et de réfraction sont complémentaires l'un de l'autre*, ou, en d'autres termes, *les rayons incident ou réfléchi sont inclinés relativement à la surface du milieu comme le rayon réfracté l'est par rapport à la normale.*

Mais si FOS′, égal à IOS, est égal à ROQ, on aura S′OR $+$ ROQ $=90° =$ S′OR $+$ FOS′, donc FO est perpendiculaire à OR; donc, *sous l'angle de la polarisation complète, le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté.*

Il importe d'examiner ici quelques objections qu'on a faites contre l'exactitude de la loi que je viens de présenter sous trois formes différentes.

Si cette exactitude était mathématique, a-t-on dit, les rayons de différentes couleurs ne se polariseraient pas tous sous le même angle, puisqu'ils traversent le milieu

dans des directions différentes. Il semblerait donc qu'en cherchant l'angle de la polarisation complète, comme on le fait ordinairement, en analysant la lumière réfléchie à l'aide d'un cristal doué de la double réfraction, on ne devrait, dans aucun cas, voir une des images s'évanouir; que parvenu, par exemple, à l'inclinaison où toute la lumière rouge du faisceau blanc incident étant polarisée passe en entier au faisceau ordinaire, l'observateur devrait apercevoir une image extraordinaire formée de blanc moins du rouge, ou verte, et ainsi de même pour toutes les autres couleurs. Cependant, ajoute-t-on, dans le plus grand nombre des cas, le cristal étant bien disposé, l'une des images s'affaiblit peu à peu quand on s'approche de l'inclinaison convenable et disparaît enfin tout à fait sans avoir présenté de traces sensibles de coloration.

Je répondrai en premier lieu qu'il existe des corps sur lesquels cette coloration est manifeste et qui, dès lors, comme le veut la loi de la tangente, ne polarisent pas sous le même angle des rayons de différentes nuances; je citerai, entre autres, le fer spéculaire sur lequel le phénomène est très-frappant; l'huile de cassia, dont la grande force dispersive le rend aussi très-apparent, etc.

J'ajouterai ensuite qu'on a tout lieu d'espérer que des observations exactes faites en employant isolément les divers rayons homogènes dont le spectre solaire se compose; que des mesures précises des quantités de lumière qui échappent à la polarisation, dans des inclinaisons peu différentes de celles où tout est polarisé, feront totalement disparaître le léger désaccord qu'on a cru remarquer entre l'expérience et une loi trop rap-

prochée de l'ensemble des phénomènes pour qu'il ne soit pas naturel de la regarder comme tout à fait rigoureuse.

La table rapportée plus haut renferme les noms de plusieurs milieux tels que le diamant, le soufre, qui ne polarisent pas complétement la lumière. La loi de la tangente qu'on en a déduite semble donc applicable à de tels milieux, pourvu qu'on entende alors par angle de polarisation, celui dans lequel le faisceau réfléchi contient la plus grande proportion de lumière polarisée. En ce sens, l'observation de cet angle, pour les métaux, serait d'autant plus importante qu'on n'a trouvé jusqu'ici aucun moyen de déterminer leur puissance réfractive.

Ces angles de plus forte polarisation, comptés à partir de la normale, paraissent être :

Sur le mercure...........	76° 1/2
Sur l'acier...............	71° environ.

Ils donneraient respectivement pour les indices de réfraction du mercure et de l'acier : 4.16 et 2.85.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la polarisation opérée à la première surface des corps; les secondes faces jouissent de propriétés analogues.

L'angle, compté à partir de la normale, sous lequel la lumière se polarise quand elle tend à passer du vide dans un milieu, est plus grand que celui dans lequel on observe le même phénomène, lorsque la lumière venant du milieu tend à passer dans le vide. Toutes les expériences montrent que *le sinus du premier de ces angles est au sinus du second comme l'indice de réfraction est à l'unité*. Ce serait

une seconde manière d'énoncer le même fait que de dire qu'à la seconde comme à la première surface des corps, *le rayon complétement polarisé par réflexion est perpendiculaire au rayon réfracté.*

On déduit encore de cette loi que si un milieu est terminé par des plans parallèles et si l'on fait tomber un pinceau de rayons sur sa première face, sous l'angle de la polarisation complète, la portion transmise de ce pinceau rencontrera la seconde face sous l'angle où elle recevra aussi une polarisation totale.

En effet, soient MN, TS (fig. 7) les faces parallèles,

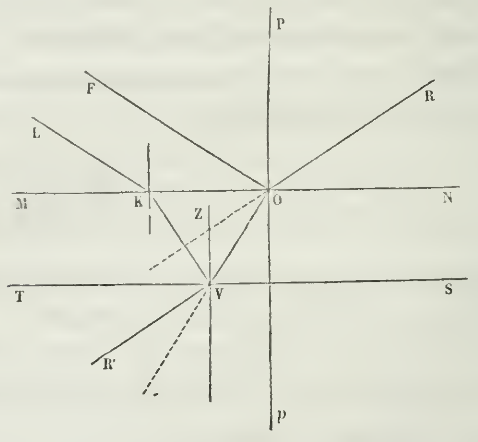


Fig. 7. — Polarisation totale à la surface d'un milieu à faces parallèles.

OR le rayon incident, n l'indice de réfraction, OV le rayon réfracté. L'angle de réfraction VOp sera toujours égal à l'angle OVZ formé par ce rayon réfracté OV et la perpendiculaire VZ à la seconde face. Or, d'après la loi citée, quand POR est l'angle de la polarisation complète sur la première face, on a :

$$\sin POR : \sin \text{angle de polarisation à la seconde face} :: n : 1;$$

d'où $$\sin POR = n \sin \text{angle de polarisation à la seconde face.}$$

Mais, d'après la loi des sinus, on a alors comme toujours :

$$\sin POR : \sin VOp :: n : 1;$$

donc $$\sin POR = n \sin VOp = n \sin ZVO,$$

équation qui, combinée avec la précédente, donne :

$$\text{angle de polarisation complète à la seconde face} = ZVO.$$

Il résulte de là que si le rayon incident, préalablement polarisé, est tel qu'il échappe à la réflexion partielle en traversant la face d'entrée d'un miroir terminé par des plans parallèles, il échappera de même à toute réflexion en traversant la face de sortie.

Si ROP a une valeur convenable, OF est totalement polarisé. VK l'est également; la réfraction subséquente KL en K n'y changera rien. Quand on voudra se procurer par la réflexion sur un miroir de la lumière polarisée, on pourra donc se dispenser de noircir la seconde face si elle est parallèle à la première : on obtiendra une polarisation tout aussi complète et l'on y gagnera que l'intensité du pinceau réfléchi sera plus grande ; seulement il faudra placer derrière le miroir un corps noir, du velours, par exemple, qui empêche les rayons des objets placés au-dessous d'arriver à l'œil par transmission.

La règle d'où je viens de tirer ces conséquences n'est du reste qu'un cas particulier d'une loi plus générale qu'on peut énoncer ainsi :

Le sinus de l'angle sous lequel un faisceau doit se

réfléchir à la première surface d'un corps pour qu'il contienne une certaine proportion de lumière polarisée, est au sinus de l'angle sous lequel la seule réflexion à la seconde face communiquerait au même faisceau une polarisation équivalente, comme le sinus d'incidence est au sinus de réfraction.

On a trouvé, par expérience, que le sinus de l'angle sous lequel une certaine proportion d'un faisceau naturel est réfléchie à la première surface d'un corps, est au sinus de l'angle sous lequel une proportion égale de ce faisceau serait réfléchie à la seconde face, s'il y arrivait immédiatement, comme le sinus d'incidence est au sinus de réfraction. Cette règle de photométrie, combinée avec la précédente, conduit à cet énoncé très-simple :

La première et la seconde surface d'un corps polarisent également la lumière dans les angles sous lesquels ces mêmes surfaces la réfléchissent également.

Je viens de montrer comment la lumière se polarise, soit en passant du vide dans une substance donnée, soit en revenant de cette substance dans le vide. Il me reste maintenant à donner les lois de la polarisation qui s'opère à la surface de séparation de deux milieux doués de pouvoirs réfringents inégaux.

Soient m et m' les indices de réfraction de ces deux milieux ; supposons que m soit plus grand que m'. L'expérience montre que la tangente de l'angle sous lequel la lumière se polarise complétement à la surface de séparation de ces deux corps est égale à $\frac{m}{m'}$.

On déduit de là, par des raisonnements analogues à ceux que nous avons déjà employés : premièrement,

qu'ici, comme dans le cas où le corps et le vide étaient contigus, la somme des angles d'incidence et de réfraction est un angle droit; secondement, que le rayon réfléchi, quand la polarisation est complète ou au maximum, est perpendiculaire au rayon réfracté.

CHAPITRE VII

DE LA RÉFRACTION CONSIDÉRÉE COMME MOYEN DE POLARISER LA LUMIÈRE

On a cru pendant quelque temps que les rayons lumineux ne se polarisaient, à la rencontre des corps diaphanes, que dans l'acte de la réflexion, et que le faisceau réfracté conservait toujours les propriétés de la lumière ordinaire; mais on s'était trompé. Il est bien vrai que la simple transmission à travers une ou même deux surfaces de tous les corps connus ne suffit pas pour polariser complétement un faisceau de lumière; mais sous certaines incidences, il en résulte du moins une polarisation partielle, car en examinant, avec un cristal doué de la double réfraction, les rayons transmis obliquement par un verre à faces parallèles, on trouve que les deux images diffèrent sensiblement d'intensité.

Soient A′ la partie du faisceau transmis qui est polarisée; B′ la portion du même faisceau qui n'a pas reçu cette modification; A et B les portions analogues du faisceau réfléchi sous la même incidence.

Nous avons déjà dit que A est polarisé comme le serait le rayon ordinaire provenant d'un cristal dont la

section principale coïnciderait avec le plan de réflexion; les pôles de A′ au contraire seront placés comme ceux du rayon extraordinaire du même cristal. Si on analyse avec un rhomboïde la lumière réfléchie sur une lame de verre, on trouve, par exemple, que, dans une certaine orientation de la section principale, l'image de droite est la plus brillante; les positions relatives du cristal, de la lame et de l'œil, n'ayant pas varié, ce sera l'image opposée, celle de gauche, qui aura le plus d'éclat quand on examinera la lumière transmise. Tous ces résultats sont renfermés dans cet énoncé :

Le plan qui contient les pôles de la lumière réfractée est perpendiculaire au plan qui contient les pôles de la lumière réfléchie. Ces deux espèces de lumière sont donc polarisées à angles droits.

Si l'on soumet de la lumière réfléchie A + B à l'action d'un cristal de carbonate de chaux dont la section principale coïncide avec le plan de réflexion, les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire auront respectivement pour intensités :

$$A + \tfrac{1}{2} B \quad \text{et} \quad \tfrac{1}{2} B.$$

Dans la même position du miroir et du cristal, les intensités des images fournies par le faisceau transmis seront :

$$\tfrac{1}{2} B' \quad \text{et} \quad A' + \tfrac{1}{2} B'.$$

A sera donc la quantité dont l'image ordinaire donnée par le faisceau réfléchi surpasse l'image extraordinaire; A′, au contraire, quand on examinera le faisceau transmis,

exprimera la quantité dont l'image ordinaire sera surpassée par l'image extraordinaire.

Je vais maintenant rapporter une expérience qui conduit à un résultat remarquable, savoir : que sous toutes les inclinaisons $A = A'$, ou, en d'autres termes, que les intensités des deux images données par le cristal diffèrent de la même quantité, soit que l'on regarde le faisceau réfléchi ou le faisceau transmis.

Supposons qu'une lame de verre ED soit placée dans la position que la figure 8 représente, devant un milieu

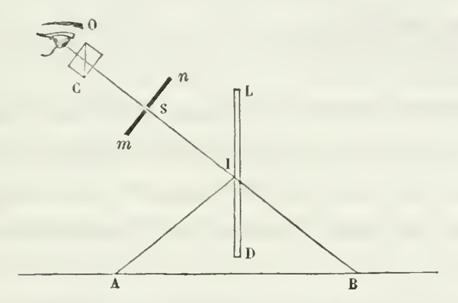


Fig. 8. — Comparaison de la lumière réfléchie et de la lumière transmise.

AB d'une nuance uniforme, devant une feuille de beau papier par exemple; l'œil en O recevra simultanément le rayon IO réfléchi en I et le rayon BIO transmis au même point. Placez en *mn* un diaphragme opaque et noirci percé d'une petite ouverture S. Enfin armez l'œil O d'un cristal C doué de la double réfraction et qui donnera deux images de l'ouverture S.

Si avec un petit écran placé entre B et I on arrête le rayon BI qui aurait été transmis, le cristal C, convenablement disposé, donnera :

Une image ordinaire................. $A + \frac{1}{2} B$,
Une image extraordinaire............ $\frac{1}{2} B$.

Si l'écran interposé entre A et I avait empêché le rayon AI d'atteindre le miroir, on aurait vu deux images de l'ouverture, et leurs intensités eussent été :

Image ordinaire.................. $\frac{1}{2} B'$,
Image extraordinaire............. $A' + \frac{1}{2} B'$.

Conséquemment, si en ôtant tout écran on laisse arriver simultanément à l'œil le rayon réfléchi AIO et le rayon transmis BIO, on aura :

Image ordinaire............... $A + \frac{1}{2} B + \frac{1}{2} B'$,
Image extraordinaire.......... $\frac{1}{2} B + A' + \frac{1}{2} B'$.

L'expérience montre alors que ces deux images sont parfaitement égales, quel que soit l'angle formé par le rayon AI avec la lame de verre, ce qui ne peut être évidemment qu'autant que A est toujours égal à A'; donc :

La quantité de lumière polarisée renfermée dans le faisceau que transmet un plan diaphane est exactement égale à la quantité de lumière polarisée à angles droits qui se trouve dans le faisceau réfléchi par le même plan.

Il résulte de là que, sous l'angle où la réflexion polarise complétement la lumière, les deux images du faisceau transmis données par un cristal convenablement placé, différeront d'intensité d'une quantité égale à la totalité du faisceau réfléchi, et que si jamais on découvre un corps qui, dans cet angle, réfléchisse la moitié de la lumière incidente, le faisceau transmis sous la même inclinaison sera aussi complétement polarisé.

Pour simplifier, j'ai supposé, dans tout ce qui précède, qu'il n'y avait en ED qu'une seule surface vitreuse. Je m'écarterais trop de mon sujet, si je montrais ici de quelle manière on peut réaliser cette abstraction ; aussi me bornerai-je à dire que les expériences rapportées réussissent également quand on place en ED un miroir de verre à faces parallèles, ce qui entraîne la conséquence que la seconde surface polarise aussi des quantités égales de lumière par réflexion et par réfraction. J'ajouterai enfin, pour dissiper tous les doutes sur l'exactitude de ces résultats, qu'ayant fait tomber simultanément, et sur deux espaces contigus d'un miroir de verre à une ou deux faces réfléchissantes de la lumière naturelle et de la lumière qui, ayant traversé un rhomboïde de carbonate de chaux, était formée de deux faisceaux également intenses polarisés à angles droits, on a trouvé dans les deux cas que la lumière réfléchie contenait la même quantité de rayons polarisés. Or, le miroir réfléchissant n'exerce aucune action particulière sur les deux faisceaux dont se compose la lumière venant du rhomboïde ; seulement elle les tamise inégalement. Si le faisceau réfléchi renferme un excès de rayons polarisés dans un sens, il se trouvera un excès précisément égal de rayons polarisés à angles droits dans le faisceau transmis. Dans ce cas, la loi énoncée est de vérité nécessaire. Pour être autorisé à l'étendre ensuite à la lumière naturelle, il suffit de s'être assuré, ainsi que nous l'avons fait, que celle-ci se comporte dans l'acte de la réflexion et dans celui de la réfraction, comme la réunion de deux faisceaux de même intensité polarisés à angles droits.

Un des meilleurs moyens de vérifier l'exactitude des lois physiques est de rechercher ce qu'elles deviennent dans des cas extrêmes. La loi précédente, en la supposant générale, conduit, par exemple, à cette conséquence que là où il n'y a pas de transmission de lumière, il ne peut point y avoir de polarisation : faites tomber, en effet, un pinceau lumineux sur la face intérieure d'un prisme, dans l'angle de la réflexion complète, et vous ne trouverez aucune trace de polarisation dans le faisceau réfléchi, quoique, sous des incidences peu éloignées de celle-là, une partie notable de la lumière et même sa totalité fussent polarisées.

Représentons par A la partie du faisceau I qui se polarise par réflexion dans l'angle de 35° sur les deux faces d'un miroir de verre parallèle. Le faisceau transmis sera $I - A$; or, dans cette quantité de lumière, d'après la loi énoncée précédemment, il se trouve A rayons dont le plan de polarisation est perpendiculaire à celui des rayons réfléchis. La quantité $I - A$ peut donc se décomposer en $I - 2A$ de lumière naturelle et en $+ A$ de rayons polarisés par réfraction. Faisons $I - 2A = I'$. Si le pinceau $I' + A$ tombe sur un second miroir, parallèle au premier, et conséquemment sous l'angle de 35°, A échappera tout entier à la réflexion partielle et, abstraction faite de l'absorption, se trouvera en totalité dans le faisceau transmis par ce second miroir; I' sera tamisé comme I l'avait été d'abord; un portion A' de I' se polarisera par réflexion; la portion restante transmise $I' - A'$, contiendra une quantité A' de rayons polarisés par réfraction, de sorte qu'au total, à la sortie du second

miroir, on aura $I'-2A'$ de lumière naturelle, et $A+A'$ de rayons polarisés par réfraction. Faisons $I'-2A'=I''$; cette lumière $I''+A+A'$ fournira dans son passage au travers d'un troisième miroir parallèle aux précédents, une nouvelle quantité A'' de lumière polarisée par réfraction, qui s'ajoutera à $A+A'$, et ainsi de suite.

Les pinceaux I, I', I'', etc., étant de la lumière naturelle, se polariseront par proportions égales à la rencontre du premier, du second, du troisième miroir, etc. Les rapports $\frac{A}{I}$, $\frac{A'}{I'}$, $\frac{A''}{I''}$, etc., auront constamment les mêmes valeurs; si par exemple $\frac{1}{6}$ du faisceau I se polarise par réflexion à la rencontre du premier miroir, $\frac{1}{6}$ de I' se polarisera sur le second, $\frac{1}{6}$ de I'' sur le troisième et ainsi de suite, et les faisceaux transmis par ces mêmes miroirs renfermeront respectivement, en lumière naturelle ou jouissant des mêmes propriétés, $\frac{4}{6}$ de I, $\frac{4}{6}$ de I', $\frac{4}{6}$ de I'', etc. Donc, quel que soit le nombre des plaques superposées, le faisceau définitivement transmis contiendra, mathématiquement parlant, une certaine quantité de lumière naturelle; mais cette quantité s'affaiblira rapidement et finira par être tout à fait insensible.

On peut dire, en ce sens, qu'une pile de plaques parallèles polarise la lumière qui la traverse perpendiculairement au plan dans lequel les rayons se seraient polarisés par réflexion sur les mêmes plaques.

J'ai supposé dans ce qui précède que la lumière incidente rencontrait la plaque de verre sous l'angle où elle se polarise complétement par réflexion; mais on obtient le même résultat quelle que soit l'inclinaison; seulement il faut composer la pile d'un nombre d'éléments d'autant

plus grand que les rayons la traversent dans une direction plus voisine de la perpendiculaire à ses faces.

Sous une inclinaison déterminée le nombre des plaques nécessaires pour produire par transmission une polarisation à peu près complète d'une lumière donnée, dépend aussi de leur force réfléchissante : j'ai déjà fait remarquer, par exemple, qu'une lame qui, sous l'angle de la polarisation, réfléchirait la moitié de la lumière incidente, composerait une pile à elle seule. Certains corps naturels, l'agate, par exemple, modifient la lumière qui les traverse, précisément comme le ferait une pile de plaques.

Si l'on taille une lame d'agate suffisamment épaisse, perpendiculairement aux couches dont elle est formée, la lumière, en la traversant, se polarise dans le sens de ces lames. Une semblable propriété existe aussi dans la tourmaline, et ici elle est d'autant plus singulière, qu'on ne découvre dans ce minéral, quand il est pur, aucune apparence de couches superposées. Si l'on polit les deux côtés opposés d'une aiguille de tourmaline, de manière à en former une lame à faces parallèles d'environ un millimètre d'épaisseur, la lumière transmise à travers ces faces, quelle que soit son incidence, sera polarisée dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'aiguille.

Avant de terminer ce chapitre, je dois encore faire connaître les phénomènes que les piles présentent quand on les expose à des rayons préalablement polarisés. J'admettrai que la pile est formée de lames de verre parallèles, et en outre, pour rendre le phénomène manifeste, que l'angle d'incidence sur la première lame, compté à partir de sa surface, est d'environ 35°.

Si le plan primitif de polarisation du rayon incident coïncide avec le plan mené par ce rayon et la perpendiculaire à la première lame au point d'incidence, une partie de ce rayon, plus considérable que si l'on employait de la lumière naturelle, sera réfléchie; à la rencontre de la seconde lame, le faisceau lumineux que la première avait laissé passer éprouvera une réflexion proportionnellement égale à la précédente; le même effet aura lieu sur la troisième lame, et ainsi de suite. Le rayon transmis, quelque intense qu'il puisse être primitivement, s'affaiblissant de cette manière en progression géométrique, finit bientôt par ne plus être sensible; la pile, examinée par l'extrémité opposée à celle d'où vient la lumière, paraît être un corps opaque; aucun rayon ne la traverse.

Tout restant dans le même état, faisons seulement tourner la pile autour du rayon d'un angle de 90° : le nouveau plan de réflexion sera perpendiculaire à l'ancien, et la lame aura atteint cette position dont nous avons précédemment parlé et dans laquelle toute vertu réfléchissante se trouve éteinte; la totalité de la lumière la traversera. Mais la seconde, la troisième, la quatrième, etc., lames, parallèles à la première, se trouvent toutes dans les mêmes circonstances, jouissent des mêmes propriétés, et elles ne réfléchiront pas davantage les rayons. Abstraction faite de l'absorption, l'appareil transmet actuellement la lumière incidente sans s'affaiblir. La pile de plaques jouit donc, à l'égard de la lumière polarisée, de la singulière propriété d'être ou complétement opaque ou tout à fait diaphane, suivant qu'elle se présente à cette lumière par l'un ou par l'autre de ses côtés, et quoique dans les deux

épreuves, l'angle d'incidence, sur le premier élément de la pile, soit toujours de 35°. Dans les positions intermédiaires, la quantité de lumière transmise augmente graduellement en allant de la position où rien ne passe à celle où tout l'affaiblissement de cette lumière provient de l'absorption.

Les tourmalines et les agates, qui semblent être de véritables piles, doivent produire des phénomènes analogues; et, en effet, une lame taillée parallèlement à l'axe d'une aiguille de tourmaline, par exemple, transmet les rayons qui sont polarisés dans un plan perpendiculaire à cet axe, et arrête au contraire en totalité les rayons dont le plan primitif de polarisation est parallèle au même axe. Quand on place une telle lame entre l'œil et un miroir réfléchissant d'eau, de verre, etc., situé en plein air, et qu'on regarde le miroir sous l'angle de la polarisation complète, il paraît très-éclairé, tout à fait obscur, ou dans des états intermédiaires suivant la position de la lame dans son propre plan. Une circonstance qui ajoute ici à la singularité de l'expérience, c'est qu'elle réussit parfaitement, quoique l'incidence sur la lame soit perpendiculaire, tandis qu'en employant une pile proprement dite, à moins de la composer d'un nombre prodigieux d'éléments, il était nécessaire que l'angle d'incidence compté à partir de la normale eût une valeur très-sensible.

Quoi qu'il en soit de l'explication qu'on veuille donner de ces phénomènes, il résulte évidemment de ce qui précède que deux lames de tourmaline superposées de manière que leurs axes soient croisés à angles droits,

forment un système complétement opaque relativement à toute espèce de lumière. On voit, par exemple, que si cette lumière est naturelle, la première plaque polarisera la portion qu'elle transmettra dans le sens de l'axe, et la seconde, située dans une direction rectangulaire, l'arrêtera dès lors en totalité.

CHAPITRE VIII

DE LA DÉPOLARISATION DE LA LUMIÈRE

Après avoir examiné comment la lumière ordinaire se transforme en lumière polarisée, nous devons étudier les modifications que celle-ci peut recevoir à son tour quand on lui fait éprouver des réflexions ou des réfractions sur des miroirs de différentes natures et diversement placés relativement à ses pôles.

Lorsqu'un pinceau polarisé tombe sur la première face d'un miroir bien poli, de manière que son plan de polarisation coïncide avec le plan de réflexion ou lui soit perpendiculaire, la lumière, régulièrement réfléchie par cette face, est complétement polarisée comme le faisceau incident, parallèlement ou perpendiculairement au plan de réflexion, et cela quelle que soit la nature du miroir.

Mais toutes les fois que le plan primitif de polarisation du faisceau incident ne coïncidera pas avec le plan de réflexion ou ne lui sera pas perpendiculaire, on reconnaîtra que le faisceau réfléchi a été modifié et que la modification dépend de la nature du miroir.

Quand on emploiera, dans ces expériences, un miroir

diaphane ou opaque, susceptible de polariser complétement la lumière naturelle, les rayons préalablement polarisés qui tomberont sur la surface seront encore complétement polarisés après leur réflexion, mais non pas dans le plan de leur polarisation primitive. Cette déviation du plan de polarisation d'un faisceau lumineux produite par sa réflexion à la première surface d'un miroir diaphane, dépend à la fois de l'angle d'incidence et de la direction du plan de réflexion relativement aux pôles du rayon.

Pour une incidence donnée, la déviation est d'autant plus considérable que le plan de réflexion fait, avec le plan de polarisation primitive, un angle plus voisin de 45°.

Supposons d'abord, pour fixer les idées, que le miroir réfléchissant soit horizontal, que l'œil de l'observateur et le rhomboïde qui doit fournir le faisceau polarisé demeurent constamment situés l'un au nord l'autre au sud du miroir, cas dans lequel le plan de réflexion coïncidera toujours avec le méridien; qu'enfin la section principale du cristal, plan dans lequel sont contenus les pôles du faisceau ordinaire, fasse un angle de 45° avec le méridien.

Quand ce faisceau ordinaire tombera perpendiculairement sur le miroir, il se réfléchira sans que son plan de polarisation se soit dévié. Ainsi ce plan formait d'abord, par hypothèse, un angle de 45° avec celui du méridien; l'inclinaison de ces deux plans sera encore de 45° après la réflexion.

Si l'on s'écarte graduellement de l'incidence perpendiculaire, on remarquera d'abord que le plan de polarisation des rayons réfléchis se rapproche peu à peu du plan de

réflexion et qu'il coïncide exactement avec lui lorsqu'on a atteint l'angle de la polarisation complète; qu'ensuite le rayon réfléchi est polarisé dans un plan qui s'éloigne d'autant plus du plan de réflexion, qu'il forme un plus petit angle avec la surface du miroir; qu'enfin, quand le rayon est à peu près parallèle à cette surface, son plan de polarisation coïncide avec celui de la lumière incidente, comme lorsqu'il venait frapper perpendiculairement le miroir.

Représentons par i l'angle d'incidence compté à partir de la normale, par i' l'angle correspondant de réfraction pour la substance dont le miroir réfléchissant est formé. La tangente de l'angle que le plan de polarisation de la lumière réfléchie fait avec le plan de réflexion est exprimée par la formule

$$\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}.$$

Vérifions cette formule d'abord dans des cas particuliers.

Quand $i=0$, i' étant aussi nul, $\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}=1$; mais l'angle dont la tangente égale l'unité est l'angle de 45°; donc, dans l'incidence perpendiculaire, si la formule est exacte, le plan de polarisation du rayon réfléchi doit coïncider avec le plan primitif de polarisation de la lumière qu'on emploie; ce qui est conforme aux observations.

$\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}$ est encore égal à l'unité et correspond à un angle de 45°, lorsque $i=90°$, c'est-à-dire quand les rayons sont parallèles à la surface du miroir, puisque alors $\cos(i+i')=-\cos i'$, et $\cos(i-i')=+\cos i'$. La

lumière conserve donc encore la polarisation primitive, comme l'expérience nous l'avait appris.

Si $i + i' = 90°$, l'angle i, d'après la loi que nous avons discutée plus haut (chap. VI, p. 315), est celui de la polarisation complète ; on a $\cos(i + i') = 0$, et $\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}$ est aussi égal à zéro. Le plan de polarisation du rayon réfléchi coïncide donc avec le plan de réflexion : l'expérience avait déjà conduit à ce résultat.

Le tableau suivant montrera enfin que pour les incidences intermédiaires, l'accord du calcul et de l'observation est aussi satisfaisant qu'il était permis de l'espérer.

Incidences, comptées à partir de la normale.	Déviation observée du plan de polarisation.	Déviation calculée.	Différences.
	Sur le verre.		
24°	38° 55′	37° 54′	+ 1° 1′
39	24 35	24 38	— 0 3
49	11 45	10 52	+ 0 53
56 ½	0 0	0 0	0 0
60	5 15	5 29	— 0 14
70	19 52	20 24	— 0 32
80	32 45	33 25	— 0 40
85	38 55	39 19	— 0 24
87	40 55	41 36	— 0 41
88	41 15	42 44	— 1 29
89	44 35	43 52	+ 0 43
	Sur l'eau.		
53°	0° 0′	0° 0′	0° 0′
60	10 20	10 51	— 0 31
70	25 20	24 48	— 0 32
80	36 20	35 49	+ 0 31
85	40 50	40 32	+ 0 18

La formule dont nous venons de comparer les résultats à ceux que fournit l'expérience suppose que le plan pri-

mitif de polarisation de la lumière qu'on emploie fait un angle de 45° avec le plan de réflexion ; mais il suffit d'une légère addition pour la rendre applicable à tous les cas. Représentons par a l'angle qui tout à l'heure avait la valeur particulière de 45°, c'est-à-dire l'angle du plan de réflexion et de la section principale du cristal ; i et i' conservant les premières significations, la tangente de l'angle exprimant la déviation qu'aura éprouvée le plan de polarisation du faisceau incident après qu'il se sera réfléchi sur un miroir, aura pour expression générale :

$$\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')} \operatorname{tang} a.$$

Dans les cas principaux, cette formule, comme il est facile de le voir, représente fidèlement les faits. Mais il reste à désirer néanmoins une démonstration expérimentale qui embrasse un grand nombre de valeurs de a et de i.

Les déviations dans les plans de polarisation suivent la même marche quand la réflexion s'opère à la seconde surface des miroirs diaphanes, depuis l'incidence perpendiculaire jusqu'à celle où commence la réflexion totale. Mais au delà de cette inclinaison, le phénomène prend un tout autre caractère : il n'y a plus alors un simple changement d'orientation dans les pôles primitifs du rayon ; et à moins que le plan qui contenait ces pôles ne coïncide avec le plan de réflexion ou ne lui soit perpendiculaire, le rayon éprouve une dépolarisation véritable ; en sorte que, de quelque manière qu'on place le rhomboïde à travers lequel on le fait passer, il donne toujours deux images. Il en est de même quand le miroir réflé-

chissant est métallique. Nous parlerons tout à l'heure des modifications particulières et fort remarquables que la lumière reçoit dans ces deux cas particuliers.

CHAPITRE IX

DES PHÉNOMÈNES D'INTERFÉRENCE EN TANT QU'ILS SONT MODIFIÉS PAR UNE POLARISATION PRÉALABLE DE LA LUMIÈRE

On sait depuis longtemps que si, après avoir pratiqué dans une feuille mince de métal, deux fentes très-fines et peu distantes l'une de l'autre, on les éclaire à l'aide de la lumière d'un seul point rayonnant, il se forme derrière la feuille des franges irisées résultant de l'action qu'exercent les rayons éparpillés par la fente de droite, sur les rayons éparpillés par la fente de gauche, dans les points où les deux faisceaux se mêlent.

Cette expérience, étudiée dans tous ses détails, a conduit aux lois très-simples dont voici l'énoncé :

Deux rayons de lumière homogène émanant d'une même source, qui parviennent en un certain point de l'espace par des routes différentes et légèrement inégales, s'ajoutent l'un à l'autre ou se détruisent ; ils forment, sur l'écran qui les reçoit, un point clair ou obscur, suivant que cette différence de routes a telle ou telle autre valeur.

Deux rayons s'ajoutent constamment quand ils se rencontrent après avoir parcouru des chemins égaux, si la plus petite différence de routes pour laquelle ils s'ajouteront de nouveau est d; ils s'ajouteront encore pour toutes les différences comprises dans la série $2d$, $3d$,

$4d$, etc. Les valeurs intermédiaires $0 + \frac{1}{2}d$, $d + \frac{1}{2}d$, $2d + \frac{1}{2}d$, etc., indiquent les cas dans lesquels deux rayons en se superposant produisent de l'obscurité; la grandeur de la quantité d varie avec l'espèce des rayons et avec la nature des milieux qu'ils traversent.

Si deux rayons se détruisent après avoir parcouru l'un et l'autre dans l'atmosphère, par exemple, des chemins différents de la quantité d', ils se détruiront encore après qu'on leur aura fait traverser perpendiculairement ou sous la même obliquité deux plaques de même nature et de même épaisseur.

Une différence d'épaisseur ou de réfringence dans les deux plaques interposées peut produire l'effet d'une inégalité dans les routes parcourues; cette différence donnera donc naissance, dans quelques cas, à un simple déplacement des franges; mais dans d'autres elle les fera entièrement évanouir.

Ces lois sont relatives aux rayons de lumière naturelle; en employant de la lumière polarisée on arrive à des résultats qui, indépendamment des nombreuses applications dont ils sont susceptibles, méritent par leur bizarrerie, de fixer l'attention des observateurs.

Supposons d'abord qu'au lieu d'éclairer les deux fentes de la lame métallique avec des rayons naturels on emploie de la lumière polarisée, les franges se formeront tout aussi bien que dans le premier cas.

Essayons ensuite de polariser, dans un certain sens, la lumière qui passe par l'une des fentes, et dans un sens perpendiculaire au premier celle qui atteint la fente voisine. On placera pour cela deux piles de plaques de

manière que la lumière, venant du point rayonnant à la première fente, ne traverse que l'une d'elles, et que l'autre pile se trouve uniquement sur la route des rayons qui doivent éclairer la seconde fente. Ces piles étant suffisamment inclinées polariseront complétement, comme on a vu, la lumière qui les traverse. Si on a le soin, de plus, que les plans suivant lesquels on les incline soient perpendiculaires entre eux, les faisceaux émergents seront polarisés à angles droits.

Quand cette dernière condition est satisfaite, on n'aperçoit aucune trace de franges derrière la lame.

Nous avons dit qu'une différence notable d'épaisseur dans les milieux que les deux rayons traversent, est suffisante pour anéantir les effets qui résultent en général de leur interférence. L'expérience que nous venons de rapporter n'aurait donc aucune importance si, par des essais préalables, on ne s'était pas assuré que les deux piles, que je suppose formées de la même nature de verre, ont aussi exactement la même épaisseur.

Le meilleur moyen de vérification est évidemment de rendre les plans de polarisation parallèles : si, dans ce cas, on aperçoit des franges, et si ensuite, après avoir fait faire un quart de révolution à l'une des piles autour des rayons qui la traversent, on n'en voit plus, ce sera évidemment au sens de la polarisation du rayon transmis qu'il faudra exclusivement attribuer cette disparition.

L'expérience que je viens de décrire serait très-difficile à faire si les piles avaient une grande épaisseur; mais on peut en former de très-minces avec des lames de mica ou des fragments de verre soufflés à la lampe; en les cou-

pant ensuite par le milieu on se procure des couples de piles d'épaisseur parfaitement égales. Rien n'empêche d'ailleurs qu'en faisant varier graduellement l'inclinaison d'une des piles on ne compense l'effet d'une légère différence d'épaisseur, si une telle différence existe.

Voici un moyen d'observation encore plus commode. On prend une aiguille de tourmaline, taillée parallèlement à son axe, de manière à former une lame à faces parallèles; on la coupe en deux. On applique ces deux fragments, l'un sur la fente de droite, l'autre sur la fente de gauche de l'écran métallique; et l'on trouve alors qu'il se produit des franges quand les deux axes des fragments sont parallèles; qu'il n'en reste pas de traces s'ils sont perpendiculaires, et que dans le passage de la première à la seconde position, leur intensité s'affaiblit graduellement.

Donnons aux deux piles adaptées aux fentes parallèles cette position rectangulaire où toute frange a disparu. Plaçons devant l'œil de l'observateur une troisième pile qui soit inclinée dans un plan formant un angle de 45° avec les plans d'incidence des deux précédentes. Cette dernière ramènera à une polarisation semblable les rayons venant des deux fentes qui, avant de la rencontrer, étaient polarisés à angles droits. Il semble donc qu'à partir de ce moment il n'y a plus de raison pour que les rayons n'interfèrent pas; et cependant, quelque soin qu'on apporte dans l'expérience, on ne découvrira aucune trace de franges.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer qu'on peut substituer une tourmaline quelconque à la troisième pile,

comme tout à l'heure nous avions remplacé les premières par les deux moitiés d'une tourmaline à faces parallèles. Le résultat sera précisément le même.

Imaginons enfin, pour épuiser toutes les combinaisons, qu'on éclaire l'écran métallique avec de la lumière polarisée; que deux piles ou deux tourmalines convenablement placées transforment les rayons polarisés dans le même sens, qui traverseront les deux fentes, en rayons polarisés à angles droits; que de plus, avant d'essayer de faire interférer ces rayons, on les ramène à une polarisation semblable, soit à l'aide d'une troisième pile, soit à l'aide d'une tourmaline, comme dans l'expérience précédente; l'observateur trouvera alors et sans doute à sa grande surprise, que les rayons sont susceptibles d'interférer ou qu'en se mêlant ils donnent naissance à un groupe très-apparent de franges irisées.

La série d'expériences que nous venons de rapporter conduit aux conclusions suivantes :

1° Deux faisceaux que l'on fait passer directement de l'état de lumière naturelle à celui de lumières polarisées dans le même sens conservent, après avoir reçu cette dernière modification, la propriété d'interférer.

2° Deux faisceaux que l'on fait passer directement de l'état de lumière naturelle à celui de lumières polarisées dans deux sens rectangulaires ne sont plus susceptibles d'interférer, ni tant qu'ils restent dans cet état, ni après qu'on les a ramenés à être polarisés dans le même sens.

3° Deux faisceaux polarisés en sens contraire n'interfèrent pas, quelles que soient les modifications qu'ils

aient éprouvées avant d'arriver à cet état en partant de celui de lumière naturelle; ramenés ensuite à des polarisations semblables, ils deviennent susceptibles d'interférer, pourvu que dans le passage de l'état naturel à l'état polarisé, les premiers plans de polarisation des deux faisceaux aient été parallèles.

Ainsi, dans ces phénomènes, le mode d'action des rayons ne dépend pas seulement de ce qu'ils sont quand ils se rencontrent, mais aussi de ce qu'ils ont été.

CHAPITRE X

DE L'ESPÈCE DE POLARISATION QUI SE MANIFESTE PAR DES PHÉNOMÈNES DE COULEURS, ET QU'ON A APPELÉE A CAUSE DE CELA LA POLARISATION COLORÉE

Examinons d'abord nettement en quoi cette nouvelle modification de la lumière consiste; nous rechercherons ensuite les divers moyens de la produire.

Polarisons un rayon de lumière directe par l'une quelconque des méthodes que j'ai précédemment décrites. Faisons-le passer ensuite au travers d'une lame de cristal de roche à faces parallèles, taillée perpendiculairement aux arêtes du prisme hexaèdre; supposons que cette lame ait environ 6 millimètres d'épaisseur, et que le rayon polarisé qui la traverse rencontre les deux faces sous l'angle de 90°. En sortant de cette lame, de quelque manière qu'elle ait été placée dans son propre plan, le rayon ne possédera plus les propriétés de la lumière polarisée ordinaire et cependant il n'aura pas repris les propriétés de la lumière directe. Pour le prouver, soumettons

ce rayon à l'action d'un rhomboïde de carbonate de chaux. Un rayon de lumière polarisée ne donnerait qu'une seule image en traversant le cristal dans deux positions particulières de la section principale, que j'ai déjà fait connaître (chap. IV, p. 307). Or le rayon sortant de la lame se divise constamment en deux faisceaux; ce dernier rayon n'est donc point de la lumière polarisée ordinaire.

J'ajouterai qu'il n'est pas davantage de la lumière naturelle. En effet, un faisceau blanc de cette dernière espèce de lumière se partage toujours, dans un cristal doué de la double réfraction, en deux rayons blancs de même intensité; le faisceau blanc, sortant de la lame de quartz, donne aussi, il est vrai, constamment deux images, mais elles brillent des plus vives couleurs. Si l'image ordinaire est rouge, l'image extraordinaire est verte; quand l'image ordinaire devient verte, l'image extraordinaire se colore en rouge. Il en est de même de toutes les autres nuances prismatiques : toujours celle du faisceau ordinaire est complémentaire de la nuance du faisceau extraordinaire, et elles varient l'une et l'autre avec la position de la section principale du rhomboïde qui opère la bifurcation.

La lunette prismatique de Rochon est un appareil approprié à ces expériences, et qui mérite, je pense, d'être indiqué ici, d'abord, parce qu'en l'employant on obtient des teintes très-vives; secondement, à cause qu'elle donne le moyen de s'assurer que les images auxquelles on vise ne perdent rien de leur netteté par l'interposition de la lame, et que ce n'est point en épar-

pillant irrégulièrement les couleurs qu'elle agit; troisièmement enfin, à raison de la facilité qu'elle offre pour prouver que les teintes des deux faisceaux sont complémentaires.

Cet instrument n'est autre chose qu'une lunette ordinaire dans laquelle on a placé, entre l'objectif et l'oculaire un prisme achromatisé de cristal de roche ou de carbonate de chaux. Comme le prisme est mobile à volonté le long de l'axe de la lunette, l'observateur peut séparer plus ou moins les deux images de l'objet auquel il vise.

Placez devant l'objectif de cette lunette la plaque de quartz en question, et adaptez de plus, à l'oculaire, un verre verdâtre d'une nature particulière, qui est fort employé par les astronomes à cause de la propriété dont il jouit d'absorber beaucoup de lumière, sans cependant colorer sensiblement le faisceau transmis.

Si vous observez alors directement le Soleil avec cet instrument, vous verrez deux images de l'astre, blanches l'une et l'autre et de la même intensité; d'où il résulte que la plaque n'imprime aucune propriété particulière à la lumière naturelle. Si, au contraire, vous visez à l'image réfléchie par un miroir de verre non étamé, vous apercevrez encore deux soleils, mais ils seront colorés, et pendant une demi-révolution de la lunette sur elle-même, chacun d'eux parcourra la série presque tout entière des couleurs prismatiques. Ainsi, le soleil rouge deviendra successivement orangé, jaune, jaune verdâtre, vert bleuâtre et violacé; à ce point, la lunette aura fait un demi-tour. Son mouvement, continué dans le même

sens, fera passer l'image violacée d'abord au rouge, ensuite à l'orangé, etc., etc. Le second soleil présentera toujours la couleur complémentaire, car si au lieu de séparer entièrement les deux images, on les laisse en partie superposées, la portion commune aux deux disques restera constamment blanche, tandis que les lunules excédantes seront teintes des plus vives couleurs.

La réflexion sur des miroirs diaphanes est également propre à faire ressortir les propriétés distinctives de l'espèce de lumière que transmet la lame de quartz.

Si l'on fait tourner un miroir de verre autour d'un faisceau de lumière naturelle, formant avec sa surface un angle d'environ 35° 1/2, le faisceau réfléchi se dirigera successivement vers tous les points de l'horizon, mais il conservera constamment la même intensité.

Si le faisceau incident est polarisé, on trouvera, au contraire, deux positions diamétralement opposées du miroir, dans lesquelles il ne réfléchira pas une seule molécule lumineuse.

En faisant, enfin, la même expérience avec la lumière sortant de la lame de cristal de roche, on verra qu'elle se réfléchit colorée, quoiqu'elle tombe blanche sur la surface du miroir, et que la nature de la couleur dépend du côté par lequel le plan réfléchissant se présente au rayon. Ajoutons que ces couleurs réfléchies se succèdent pendant le mouvement de révolution du miroir suivant le même ordre que dans le spectre solaire; qu'on les observe aussi dans le faisceau transmis, mais que ces dernières, dans toutes les positions, sont complémentaires des couleurs réfléchies.

Si les propriétés des rayons polarisés dépendent, comme le supposent les partisans du système de l'émission, des arrangements particuliers que prennent les molécules dont ils sont formés, il sera facile d'assigner la composition intime du rayon polarisé ordinaire et celle de ce même rayon à sa sortie de la lame de cristal de roche. Dans le premier rayon, en effet, les axes de toutes les molécules, quelles que soient leurs couleurs, seront parallèles; dans le second, les molécules de nuances différentes auront leurs pôles tournés vers diverses régions de l'espace.

Nous devons maintenant examiner suivant quelle loi s'opère la déviation de ces pôles, soit à raison de la teinte particulière de chaque molécule lumineuse, soit à cause des épaisseurs plus ou moins considérables de cristal qu'elles peuvent avoir traversées. En employant de la lumière homogène polarisée, on reconnaît aisément que, si une plaque de quartz transporte les pôles d'un certain rayon à 20° de leur direction primitive, une plaque deux fois plus épaisse, tirée de la même aiguille, produit une déviation double, ou de 40°; une plaque d'épaisseur triple donne une déviation triple, ou 60°, et ainsi de suite indéfiniment.

Quant aux rayons simples de différentes couleurs, en traversant une plaque donnée, ils éprouvent des déviations d'autant plus fortes qu'ils sont plus réfrangibles, et cela dans le rapport inverse des nombres que Newton appelle les longueurs d'accès, ou, ce qui revient au même, dans le rapport inverse des quantités que nous avons précédemment désignées par la lettre d.

Connaissant donc la déviation pour une plaque, on peut, à l'aide d'une simple partie proportionnelle, trouver celle que produirait une autre plaque de même nature plus ou moins épaisse.

Voici le tableau des déviations qu'éprouvent les plans de polarisation de divers rayons simples en traversant une lame de cristal de roche d'un millimètre d'épaisseur et perpendiculaire à l'axe de l'aiguille hexaédrale :

Rouge extrême......................	17°.50
Limite du rouge et de l'orangé.......	20 .48
— de l'orangé et du jaune.......	22 .31
— du jaune et du vert..........	25 .68
— du vert et du bleu............	30 .05
— du bleu et de l'indigo.........	34 .57
— de l'indigo et du violet........	37 .68
— du violet extrême............	44 .08

Il n'y a aucune raison de supposer que les déviations angulaires auront d'autres valeurs quand toutes les molécules traverseront simultanément le cristal. Dans le faisceau blanc transmis par une lame de un millimètre, les axes des rayons rouges élémentaires formeront conséquemment un angle de 3° avec les axes des premiers rayons orangés, d'environ 5° avec ceux des premiers rayons jaunes, etc., et enfin de 26° 5′ avec les axes des rayons violets extrêmes. Si l'on analyse ce faisceau blanc à l'aide d'un rhomboïde, les divers rayons colorés dont il se compose ne se partageront pas dans les mêmes proportions entre les deux images, et dès lors il y aura nécessairement coloration. On voit, par exemple, qu'en plaçant le rhomboïde de manière que sa section principale contienne les pôles du rayon rouge, ce rayon passera

tout entier dans le faisceau ordinaire et que la teinte rouge manquera totalement dans l'image extraordinaire. On acquerra une notion exacte du genre de modification qu'une plaque de quartz imprime à un faisceau blanc de lumière polarisée, en concevant qu'on réunisse ensemble les molécules rouges polarisées par réflexion sur un certain miroir diaphane; les molécules orangées polarisées par un miroir formant un certain angle avec le premier; les molécules jaunes que polariserait un troisième miroir différent des deux précédents, et ainsi de suite. Le mélange intime de toutes ces espèces de molécules dans chaque filet de lumière blanche et quelques autres obstacles ne permettraient de réaliser cette fiction qu'à l'aide d'appareils très-compliqués. Une simple lame de quartz suffit, au contraire, pour donner aux différentes parties constituantes du rayon blanc ces polarisations individuelles dirigées dans divers azimuts.

Les phénomènes que je viens de décrire sont produits, comme nous l'avons dit, par des plaques de quartz à faces parallèles taillées perpendiculairement à l'axe de l'aiguille hexaèdre. Dans une direction perpendiculaire à ces faces, le quartz n'a point la double réfraction; les forces qui, dans ce cas-ci, dévient les plans de polarisation des molécules lumineuses diffèrent donc des forces auxquelles, suivant d'autres coupes du cristal, on doit la bifurcation des rayons. Aussi a-t-on trouvé les propriétés des lames en question dans des corps sans cristallisation régulière, comme le flint-glass, ou même parfaitement fluides, tels que les huiles essentielles de térébenthine, de citron, ou les dissolutions de camphre dans l'alcool, le

sirop de sucre, etc., etc. Il n'y a de différence que dans la valeur absolue des épaisseurs qui donnent les mêmes teintes[1], les autres lois restent les mêmes.

On a vu que la lame de quartz, de un millimètre d'épaisseur, fait tourner les pôles des molécules rouges de 17°.5. Supposons que ce mouvement se soit effectué de droite à gauche : toute autre plaque, quelle qu'en soit l'épaisseur, tirée de l'aiguille hexaèdre qui a fourni la première, déviera les pôles dans le même sens, c'est-à-dire de droite à gauche; quant aux plaques extraites d'un prisme différent, elles pourront, au contraire, les dévier de gauche à droite.

Ce phénomène, au premier aperçu, doit paraître fort singulier; mais si l'on réfléchit que les rayons traversent les plaques dans un sens où toute force de double réfraction a disparu, on comprendra qu'une déviation des pôles constamment dirigée du même côté pour tous les échantillons de cristal ne serait pas moins étonnante. On n'a pas découvert jusqu'ici des signes extérieurs qui puissent faire prévoir dans quel sens les plaques qu'on extraira d'un cristal donné dévieront les pôles, si ce n'est dans un cas particulier fort remarquable. Sur certaines variétés de quartz, les angles solides situés à la base de la pyramide dont l'aiguille prismatique est surmontée sont remplacés par autant de facettes placées de biais relativement aux arêtes. Or, le sens de la déviation que ces cristaux,

1. Une plaque de térébenthine produit le même effet qu'une plaque de cristal de roche quand elle est 69 fois plus épaisse qu'elle. L'action de l'huile essentielle de citron est à celle de l'huile de térébenthine comme 17 est à 10.

qu'on appelle *plagièdres*, impriment aux pôles des molécules lumineuses, est constamment celui de l'obliquité des petites facettes.

Quand un rayon polarisé traverse successivement deux plaques à rotations contraires, la déviation définitive des pôles est la différence des effets que chaque plaque eût produits isolément. Ce rayon donne exactement les mêmes teintes que s'il eût traversé une plaque unique d'une épaisseur égale à la différence des deux plaques combinées.

Si ces plaques combinées ont des épaisseurs égales, le faisceau transmis, tourné d'abord dans un sens et retourné ensuite dans le sens contraire, semble n'avoir point changé de polarisation.

L'essence de térébenthine dévie les axes des molécules du rayon polarisé qui la traverse de la droite à la gauche de l'observateur qui reçoit ce rayon. L'huile essentielle de citron les dévie de gauche à droite. Ces fluides ne perdent rien de leur action propre quand on les mêle, en sorte que si leurs proportions, dans le mélange, sont inverses de leurs forces rotatoires, le rayon qui l'a traversé sort avec sa polarisation primitive.

CHAPITRE XI

SUR LES PHÉNOMÈNES DE DÉPOLARISATION ET DE COULEURS PRODUITS PAR LES LAMES CRISTALLISÉES

Cherchons comment un rayon blanc polarisé dans un seul sens est modifié en traversant une lame cristalline douée de la double réfraction.

Dirigeons pour cela la section principale d'un rhom-

boïde de spath calcaire dans le plan de polarisation d'un rayon blanc; ce rayon subira tout entier la réfraction ordinaire. Plaçons ensuite la lame en avant du rhomboïde de manière que les rayons la traversent perpendiculairement. Si la section principale de cette lame est parallèle à celle du rhomboïde, on ne verra encore qu'une seule image blanche. Il en sera de même si les sections principales sont perpendiculaires; dans toute autre position de la lame le rhomboïde fournira deux faisceaux et ils seront colorés de teintes complémentaires.

Le mouvement de la lame dans son propre plan n'altère pas la nature des teintes; leur vivacité seulement est d'autant plus grande que les sections principales font entre elles un angle plus voisin de 45°.

Ces teintes varient avec l'épaisseur de la lame au point de dégénérer en une blancheur parfaite quand l'épaisseur est suffisante. Dans le sulfate de chaux l'épaisseur à laquelle cessent les phénomènes de coloration est d'environ un demi-millimètre.

Appelons O la teinte du faisceau ordinaire, E celle dont se colore le faisceau extraordinaire. L'expérience montre que la teinte E est à peu près celle d'un des anneaux colorés réfléchis entre deux objectifs superposés, comme dans les célèbres expériences de Newton, et que la teinte O est celle de l'anneau transmis correspondant. Cette règle, toutefois, n'est pas générale. Dans beaucoup de cristaux les teintes E ne ressemblent en aucune manière à celles des anneaux.

Quand la règle précédente se vérifie, les épaisseurs successives d'un même cristal auxquelles se forment les

diverses teintes E sont proportionnelles à celles que Newton a données pour les substances non cristallisées. On trouve seulement qu'à égalité de densité les valeurs absolues de ces épaisseurs surpassent beaucoup les épaisseurs indiquées par les tables de Newton.

Il existe entre la teinte E, l'épaisseur de la lame et les éléments de sa double réfraction, une autre relation remarquable qu'il importe de signaler.

L'image E n'apparaît que lorsque la section principale de la lame n'est ni parallèle ni perpendiculaire au plan primitif de polarisation du rayon qui la traverse. Ne donnons à cette lame que les propriétés ordinaires de la double réfraction; le rayon s'y partagera généralement en deux faisceaux dont l'un suivra la route ordinaire, l'autre la route extraordinaire. Deux faisceaux de même origine qui se croisent après avoir parcouru des routes inégales interfèrent. Pour une certaine inégalité de ces routes, ce sont les rayons rouges qui se détruisent; pour une autre, ce seront les rayons jaunes, verts, bleus, etc. Si l'on détermine, d'après ces principes, la teinte résultante des interférences des divers rayons, en tenant compte de l'épaisseur et de l'intensité de double réfraction de la lame, on trouvera toujours un accord très-satisfaisant entre le calcul et l'observation.

Le mode de déviation singulier que les lames minces produisent en apparence dans les pôles des molécules de diverses couleurs dont se compose un rayon blanc était très-difficile à découvrir; rien ne le prouve mieux que l'assentiment presque unanime qu'ont donné les physiciens aux lois sur lesquelles se fonde ce qu'on a appelé la théorie

de la *polarisation mobile.* Je n'atteindrais pas ici le but que je dois avoir en vue, si je me contentais d'exposer les véritables principes de ces phénomènes. La critique d'une théorie erronée fait une partie essentielle de ma tâche, surtout quand cette théorie est spécieuse, et qu'elle est produite avec assurance dans les ouvrages les plus récents, malgré les objections, à mon avis, décisives, dont elle a été l'objet.

Voici le théorème fondamental de la polarisation mobile :

« Lorsqu'un rayon de lumière simple, polarisé suivant une direction, traverse perpendiculairement une lame cristallisée parallèle à l'axe de double réfraction, les molécules lumineuses commencent par pénétrer jusqu'à une certaine profondeur sans perdre leur polarisation primitive ; après quoi leur mouvement de translation continue toujours ; elles se mettent à osciller périodiquement sur elles-mêmes, de manière que leur axe de polarisation se transporte alternativement de part et d'autre de la section principale du cristal ou de la ligne qui lui est perpendiculaire dans des amplitudes égales, comme un pendule autour de la verticale dont on l'a écarté. Chacune de ces oscillations s'exécute dans une épaisseur $2e$, double de celle que la molécule avait parcourue avant d'entrer en oscillation..... Ainsi, depuis l'épaisseur zéro jusqu'à une certaine épaisseur fondamentale e, les molécules homogènes dont se compose le rayon qui traverse un cristal se comportent, après leur émergence, comme si elles n'avaient pas quitté leur polarisation primitive ; depuis e jusqu'à $2e$ elles se comportent comme si elles l'avaient

quittée pour en prendre une nouvelle dans l'azimut $2i$, i étant l'angle que forme la section principale de la lame avec le plan originaire de leur polarisation; et enfin elles paraissent alternativement polarisées dans l'azimut ancien ou dans l'azimut $2i$. »

Toutes les fois que la lumière qui émerge d'un cristal à un axe, mince ou épais, est composée de deux faisceaux distincts, on reconnaît que ces deux faisceaux sont polarisés dans des directions perpendiculaires, soit que la lumière incidente fût elle-même naturelle ou polarisée; aucune exception n'a jusqu'ici contredit cette règle. Il est difficile de deviner, dans le système dont je viens de rapporter les principes, comment se ferait le passage de la polarisation mobile à la polarisation dans deux sens rectangulaires que, par opposition, on a appelée fixe.

Venons à une objection plus directe : Plaçons une lame de sulfate de chaux de manière que sa section principale fasse un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation de la lumière homogène qui doit la traverser. $2i$ étant alors égal à 90°, le faisceau transmis, d'après les principes de la polarisation mobile, serait polarisé en entier ou dans le plan primitif ou dans le plan perpendiculaire; analysé avec un rhomboïde, il ne donnerait, dans deux positions de sa section principale, qu'une seule image. Or, loin de là, si la lame a l'épaisseur convenable, ce faisceau se partagera constamment en deux images de même intensité dans le rhomboïde, quelle que soit l'orientation de la section principale de ce cristal.

Quand deux faisceaux de même origine et doués d'une même vitesse viennent à se croiser sous un très-petit

angle, après avoir parcouru des chemins dissemblables et de longueurs légèrement inégales, ils peuvent s'entre-détruire complétement, comme nous l'avons déjà dit. Cette destruction pourrait également avoir lieu pour deux faisceaux qui suivraient la même route s'ils avaient des vitesses inégales. Soit d la différence de chemins qui détermine, dans le premier cas, la suite périodique de points de l'espace où deux rayons d'une certaine lumière homogène donnent lieu, par leur interférence, à une obscurité entière; cette même lettre d représentera, dans le second cas, la quantité dont l'un des rayons devra, en vertu de son excès de vitesse, s'être plus avancé que l'autre pour qu'il y ait aussi destruction.

Lorsque dans une lame cristallisée la différence des chemins parcourus par les rayons ordinaire et extraordinaire de cette espèce de lumière, ou bien l'effet de la différence de vitesse, sera 0, nd, ou $(n+\frac{1}{2})d$, n étant un nombre entier, un faisceau préalablement polarisé transmis par cette lame paraîtra polarisé tout entier dans le plan primitif ou dans l'azimut $2i$, comme les principes de la polarisation mobile l'indiquent.

Quand la lame aura une épaisseur telle que la différence des chemins parcourus par les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire sera renfermée dans la formule générale $(n+\frac{1}{4})d$, n étant encore un nombre entier, la lumière transmise paraîtra être devenue de la lumière ordinaire, si la section principale de la lame fait un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif du faisceau incident. Ceci ne s'accorde point du tout, comme on a déjà vu, avec les principes de la polarisation mobile.

Enfin, dans le cas où l'épaisseur de la lame employée n'est comprise dans aucune des formules précédentes, les rayons complétement polarisés qui la traversent en sortent avec les caractères d'une polarisation partielle. Ce résultat n'est pas moins contraire que les précédents aux lois de la polarisation mobile, puisque, d'après ces lois, le rayon incident polarisé sortirait toujours complétement polarisé, avec un simple changement d'azimut dans les pôles.

Nous venons de démontrer qu'il n'est point généralement vrai qu'un faisceau de lumière homogène polarisée qui traverse des lames minces cristallisées, ou conserve en entier sa polarisation primitive, ou dirige tous ses pôles dans l'azimut $2i$. Avec cela tombe tout l'échafaudage des mouvements oscillatoires attribués aux molécules lumineuses. Quant à l'objection que nous faisions plus haut contre la théorie de la polarisation mobile, relativement à la liaison à établir entre les phénomènes des lames minces et ceux des cristaux épais, elle paraît avoir encore toute sa force, puisque nous n'avons pas trouvé nous-même que les rayons des lames minces soient polarisés dans deux sens rectangulaires.

Supposons cependant, pour un moment, qu'il en soit ainsi, et qu'un faisceau lumineux traversant une lame mince de sulfate de chaux s'y partage en deux rayons, l'un ordinaire, l'autre extraordinaire, polarisés à angles droits, et voyons ce qui devra en résulter. Mathématiquement parlant, ces deux rayons suivent, en général, dans le cristal, des routes différentes; mais il n'est pas possible de les séparer physiquement, parce que l'imperfection

de nos organes nous force de viser à des objets d'une certaine largeur. Les partisans de la polarisation mobile examineront en masse cette lumière émergente ; ils trouveront, dans certains cas, qu'elle paraît avoir conservé sa polarisation primitive ; dans d'autres, qu'elle semble polarisée dans l'azimut $2i$; et ils concluront de là que les lames minces agissent tout autrement qu'un cristal épais.

Cette conclusion, toutefois, peut être contestée. Quand on se sert d'un cristal épais, les deux images ordinaire et extraordinaire sont séparées ; on étudie les propriétés de chacune d'elles isolément. Dans le cas de la lame mince, l'observateur opère sur de la lumière complexe mélangée. Or, qui pourrait affirmer, sans l'avoir essayé, que deux rayons, réellement polarisés à angles droits, ne sembleront point, dans des cas d'interférence, avoir perdu chacun leur polarisation primitive, et ne donneront pas lieu à une polarisation *résultante* intermédiaire, dont les autres seraient comme les *composantes*.

Le lecteur a maintenant deviné lui-même que pour éclaircir ces mystérieux phénomènes, nous aurons à prouver : 1° qu'il se forme deux faisceaux dans les lames minces, comme dans les cristaux épais, polarisés à angles droits ; 2° que ces faisceaux, quand ils sont mêlés, peuvent offrir les apparences d'une polarisation intermédiaire entre celles de chacun d'eux. Tel est, en effet, l'objet des expériences très-délicates que je vais rapporter.

Après avoir réuni un faisceau de lumière solaire homogène dans un espace très-resserré, à l'aide d'une lentille d'un court foyer appliquée au volet d'une chambre obscure, recevons le faisceau de rayons divergents sur

deux miroirs de verre légèrement inclinés l'un par rapport à l'autre. Si nous supposons que l'angle d'incidence soit d'environ 35°, les faisceaux réfléchis par l'un et par l'autre miroir seront complétement polarisés et, en se croisant dans l'espace, formeront par leur interférence des bandes obscures et brillantes. Pour toutes les positions des miroirs réfléchisants ces bandes seront polarisées dans le même azimut que les deux faisceaux qui concourent à leur production.

Prenons, maintenant, une lame de sulfate de chaux très-limpide et coupons-la par le milieu, afin d'avoir deux lames de même épaisseur. Fixons l'une des moitiés de cette lame en avant des miroirs, de telle sorte qu'elle ne soit traversée que par le faisceau réfléchi sur la surface du premier; admettons, de plus, que sa section principale fasse un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation. Plaçons ensuite l'autre moitié de la lame sur la route des rayons polarisés que le second miroir réfléchit, mais de manière que sa section principale, étant perpendiculaire à celle de la première, fasse comme elle avec le plan primitif de polarisation un angle de 45°.

Si ces lames agissent comme des cristaux épais, elles doivent l'une et l'autre, quelle que soit d'ailleurs la petitesse de leur double réfraction, diviser les rayons réfléchis qui les traversent en deux faisceaux de même intensité et polarisés à angles droits. Seulement, dans les positions particulières qu'on leur a données, il arrivera évidemment que le plan de polarisation du faisceau ordinaire provenant de la lame de droite, par exemple, sera parallèle au plan de polarisation du faisceau extra-

ordinaire de la lame de gauche; le faisceau ordinaire provenant de cette dernière lame et le faisceau extraordinaire de la lame opposée seront aussi semblablement polarisés.

Ceci une fois admis, il est facile de prévoir ce qui arrivera dans les points où les deux faisceaux viendront à se croiser. Les rayons ordinaires provenant de la lame de droite pourront d'abord interférer avec les rayons extraordinaires que donne la lame de gauche, puisqu'ils sont polarisés dans le même sens, et ils formeront un premier groupe de franges obscures et brillantes. Un second groupe résultera de l'action des rayons extraordinaires de droite, sur les rayons ordinaires de la lame de gauche. Ces deux groupes de franges seront d'autant plus séparés que les lames auront plus d'épaisseur et que le genre de cristal auquel elles appartiendront jouira d'une plus forte double réfraction. Dans l'espace intermédiaire se trouvent les rayons de même nom fournis par les deux lames; mais, comme ils sont ici polarisés en sens opposés, ils se croisent sans donner naissance à aucun phénomène d'interférence, et l'œil n'y aperçoit qu'une lumière uniforme.

Une chose qui n'est pas moins évidente que l'existence de deux systèmes de franges, c'est qu'en employant du sulfate de chaux, ces systèmes seront l'un et l'autre complétement polarisés, dans un plan perpendiculaire à la section principale de la lame la plus voisine.

Or, il n'est aucune de ces conséquences de l'hypothèse dont nous sommes partis, savoir que chaque lame partage la lumière polarisée qui la traverse en deux fais-

ceaux polarisés à angles droits, dont l'expérience ne donne une confirmation complète. La vérité de l'hypothèse est ainsi démontrée, car tout autre mode de séparation ou de polarisation des rayons, celui qui se déduit des principes de la polarisation mobile, par exemple, donnerait lieu à des phénomènes entièrement différents de ceux que je viens de décrire.

Pour peu qu'on ait étudié le chapitre IX (p. 336 à 341) dans lequel j'ai montré les circonstances où des rayons polarisés peuvent donner lieu à des effets appréciables d'interférence, on comprendra que les deux systèmes de franges qui ont fait l'objet des expériences précédentes, ne peuvent résulter, comme je l'ai admis, que de la rencontre des rayons ordinaires d'une lame avec les rayons extraordinaires de la lame opposée. Si, toutefois, on avait quelques doutes à ce sujet, voici comment je les lèverais.

Je substituerais aux deux lames minces qui nous avaient d'abord servi, deux cristaux épais (deux rhomboïdes de carbonate de chaux, si l'on veut) dans lesquels la double réfraction serait manifeste. Comme on pourrait suivre alors séparément la marche de chaque faisceau, et les arrêter tour à tour avec des écrans, on prouverait, par le fait même, que pour la formation d'un des groupes de franges, il faut et il suffit que le faisceau ordinaire d'un des cristaux rencontre le faisceau extraordinaire de l'autre, et réciproquement. Le sens de la polarisation de ces franges, déterminé à l'aide d'un rhomboïde, serait d'ailleurs exactement le même que dans le cas où nous employons des lames minces. Il n'y aurait de différence

notable entre les deux expériences qu'à l'égard de l'écartement des deux groupes de franges. Cette distance dépendant de la différence des chemins parcourus par les rayons ordinaire et extraordinaire, serait plus grande avec les cristaux qu'avec les lames. Il pourrait même arriver, si les cristaux étaient très-épais, que pour amener les franges dans le champ de la vision, il fallût compenser une partie de la différence de route ou de vitesse, à l'aide d'un verre plan, placé sur le chemin parcouru par l'un des faisceaux; mais, en tout cas, les conséquences de l'observation se présenteraient avec la même netteté. Nous ajouterons enfin une dernière circonstance qui à elle seule lèverait toute espèce de difficulté qu'on pourrait faire sur la véritable cause de la formation des deux systèmes de franges dans le cas des lames minces : ce sera que l'intervalle qui sépare ces deux systèmes est tellement lié à la double réfraction des lames, qu'on peut toujours en déduire une valeur numériquement exacte de cette double réfraction, comme il a été facile de le reconnaître en la mesurant ensuite par les méthodes ordinaires sur des cristaux épais de même nature.

Voyons maintenant comment il est possible de concilier l'expérience que nous venons de rapporter et d'où il résulte que toute lame mince ou épaisse partage la lumière en deux faisceaux polarisés à angles droits, avec cet autre fait, en apparence si opposé, que si la lame a une épaisseur convenable, le groupe entier des rayons polarisés qui la traversent pourra ne sembler polarisé que dans le plan primitif, ou dans l'azimut $2i$.

On forme, dans une chambre obscure, un point rayon-

nant très-petit de lumière homogène, par le moyen d'une loupe, comme nous l'avons déjà indiqué. On reçoit le faisceau divergent qui part de ce point sur un miroir de verre, dont la seconde face est recouverte d'un mastic noir absorbant. Pour fixer les idées, nous donnerons à ce miroir une position verticale; nous supposerons, de plus, que le faisceau divergent est à peu près horizontal et qu'il rencontre la face réfléchissante sous un angle peu éloigné de celui de la polarisation complète.

Ces premières dispositions achevées, on place sur la route que suivent les rayons réfléchis par le miroir, un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale fasse, avec le plan horizontal auquel par hypothèse celui de réflexion est parallèle, un angle de 45°. Dans cette position du rhomboïde, la lumière qui le traverse se divise en deux faisceaux, l'un ordinaire, l'autre extraordinaire, polarisés à angles droits et de même intensité. A leur sortie de ce premier rhomboïde les deux rayons en rencontrent un autre de même épaisseur, mais dont la section principale est perpendiculaire à celle du précédent. Le faisceau ordinaire y éprouvera donc la réfraction extraordinaire, tandis que le faisceau qui était extraordinaire dans le premier cristal deviendra ordinaire en traversant le second. Ces deux derniers faisceaux, ordinaire et extraordinaire, en passant dans l'air, seront polarisés, l'un dans le plan de la section principale du second cristal, l'autre dans le plan perpendiculaire.

Suivons ces faisceaux par la pensée : il est d'abord évident que, à cause de leur commune divergence, ils se croiseront dans une étendue d'autant plus grande qu'on

s'éloignera davantage du rhomboïde. Leurs points de départ étant distincts et sensiblement séparés, l'observateur pourra arrêter tour à tour avec un écran le faisceau ordinaire ou le faisceau extraordinaire et éclairer à volonté certains points de l'espace, soit avec l'un, soit avec l'autre de ces faisceaux pris séparément, soit, enfin, avec tous les deux à la fois.

Parvenus à ce point de l'expérience délicate et assez compliquée qui nous occupe, plaçons un verre légèrement dépoli dans une partie du champ commun aux deux faisceaux, marquons par une ouverture très-fine pratiquée dans une lame opaque et adaptée à ce verre, le lieu précis vers lequel notre attention va se porter, et servons-nous comme d'habitude d'un cristal doublement réfringent pour analyser les diverses espèces de lumière qui, après avoir traversé la fente du diaphragme, viendront se peindre au fond de l'œil.

Nous reconnaîtrons d'abord aisément que le rayon ordinaire, quand il arrive seul à l'ouverture, en quelque lieu qu'elle soit placée, n'éprouve aucune modification et qu'il reste polarisé comme il l'était auparavant. Il en est de même du rayon extraordinaire. Mais si ces deux rayons, après s'être croisés dans la fente, pénètrent simultanément dans l'œil à travers le cristal dont il est armé, le phénomène n'est plus aussi simple et change même de nature suivant la place que la fente occupe. En faisant mouvoir cette fente graduellement, à l'aide d'une vis, on trouve bientôt le point où la lumière composée de deux faisceaux qui la traversent, semble en masse polarisée comme l'était le faisceau primitivement réfléchi

par le miroir de verre noirci. Plus loin, le plan de polarisation semblera perpendiculaire au précédent, ce qui correspond précisément à l'azimut $2i$, puisque $i = 45°$. Dans une position de la fente intermédiaire entre les deux précédentes, les rayons auxquels elle donne passage ne présenteront aucune trace appréciable de polarisation.

Cette expérience nous offre donc le singulier phénomène de deux faisceaux polarisés à angles droits, qui, après s'être croisés sur le verre dépoli, se réunissent au fond de l'œil et forment, en somme, comme l'épreuve par le rhomboïde le démontre, un faisceau tantôt polarisé complétement dans un sens, tantôt complétement polarisé dans un sens différent, tantôt, enfin, sans trace de polarisation sensible, suivant que l'inégalité des routes parcourues par les deux faisceaux a telle ou telle autre valeur.

C'est seulement pour fixer les idées que j'ai supposé qu'un verre dépoli couvrait le diaphragme, dont, au reste, on peut aussi se passer. Une loupe servira, si l'on veut, à observer les franges aériennes formées par l'interférence des faisceaux lumineux. Si l'on se contentait, cependant, de se placer avec cette loupe en face des deux rhomboïdes croisés, l'œil ne recevrait qu'une lumière uniforme et continue; mais aussitôt qu'un cristal donnant deux images sera convenablement interposé entre la loupe et ces rhomboïdes ou entre la loupe et l'œil, on apercevra deux systèmes de franges obscures et brillantes; les franges claires d'une des images correspondront toujours aux franges obscures de l'autre. La frange du milieu, par exemple, sera brillante dans l'image

ordinaire si la section principale du cristal interposé est parallèle au plan primitif de polarisation des rayons sur le verre noirci ; alors, au contraire, cette frange centrale sera obscure dans l'image extraordinaire. Le point de l'espace qu'occupe l'image centrale semble donc envoyer à l'œil, à travers le cristal dont il est armé, de la lumière encore polarisée dans le plan primitif, puisqu'elle ne donne qu'une image ordinaire. Ceci prouve de plus que les effets d'interférence dans l'image extraordinaire ne doivent être calculés qu'en ajoutant $\frac{1}{2}d$ à la différence des chemins parcourus.

Quand la section principale du cristal interposé est perpendiculaire au plan originaire de polarisation, les rôles se trouvent changés : c'est alors la frange centrale de l'image extraordinaire qui est brillante, tandis que dans l'image ordinaire, cette même frange est complétement obscure, comme si la différence de routes entre les rayons qui la forment était $\frac{1}{2}d$.

J'ai supposé jusqu'ici que le faisceau éclairant ne renfermait que de la lumière homogène ; c'est pour cela qu'il n'a donné naissance qu'à des franges obscures ou brillantes. Quand on se sert de lumière blanche, ces franges sont colorées, parce que d n'a pas des valeurs égales pour les rayons de différentes nuances, et les teintes qu'on y remarque sont précisément les mêmes que la lumière polarisée développe dans les lames cristallisées de toutes les épaisseurs possibles.

Peu de mots doivent maintenant suffire pour montrer le mode d'action de ces lames dans les phénomènes de coloration que j'ai d'abord décrits.

Un rayon polarisé qui traverse une lame cristallisée douée de la double réfraction, s'y partage, mathématiquement parlant, en deux faisceaux polarisés à angles droits, mais deux faisceaux de cette espèce n'interfèrent pas. La lame ne donnera donc pas de couleurs à l'œil nu, quelle que soit son épaisseur, lors même qu'elle ne sera éclairée que par de la lumière polarisée. L'expérience confirme déjà ce résultat.

Chacun des faisceaux, ordinaire ou extraordinaire, provenant de cette lame se partagera encore en deux quand il traversera un prisme de cristal achromatisé ou un rhomboïde. De ces quatre faisceaux émergents, les deux qui suivront la route ordinaire ne seront pas plus séparés qu'ils ne l'étaient au sortir de la lame. Ceci s'applique également aux deux rayons extraordinaires, en sorte qu'en définitive l'œil n'apercevra que deux images distinctes.

Des deux faisceaux qui concourront ainsi à la formation de l'image ordinaire, l'un était ordinaire en traversant la lame et s'est conservé ordinaire dans le rhomboïde placé près de l'œil; tandis que c'est par l'action de ce cristal que l'autre faisceau, qui était extraordinaire dans la lame, a passé à l'image ordinaire.

Les rayons de noms différents ont, dans les cristaux doués de la double réfraction, des vitesses dissemblables. Une inégalité de vitesse, comme nous l'avons déjà vu, donne tout aussi bien lieu à des phénomènes d'interférence qu'une différence de route. Si donc, dans la lame employée, la différence entre les vitesses des rayons ordinaire et extraordinaire correspond, soit à raison de

l'épaisseur de cette lame ou de l'intensité de sa double réfraction, à une certaine quantité d ou à ses multiples, l'espèce de rayons dont la différence de route nd, n étant un nombre entier, détermine les destructions, manquera dans l'image ordinaire que donne le rhomboïde. Cet effet, je le répète, tient à l'interférence des deux rayons dont cette image est réellement formée et qui dans la lame avaient des vitesses inégales.

Si l'expérience des deux rhomboïdes croisés ne nous avait pas prouvé que pour calculer les actions mutuelles des rayons lumineux qui, en traversant des cristaux doués de la double réfraction, changent plusieurs fois de plan de polarisation, il ne suffit pas des règles ordinaires des interférences, nous serions ici arrêtés par une grande difficulté. La différence de vitesse étant la même pour les deux rayons dont l'image extraordinaire donnée par le rhomboïde est formée et pour ceux qui concourent à la production de l'image ordinaire, il semblerait que les rayons de même couleur devraient se détruire dans les deux images, ce qui revient à dire qu'elles devraient avoir la même teinte; mais si l'on se rappelle qu'après avoir calculé pour une des images l'effet de l'interférence correspondant à une différence des routes d, on est obligé, en passant à l'image de nom différent, si l'on veut obtenir des résultats conformes à l'expérience, d'ajouter $\frac{1}{2}d$ à la différence des chemins ou à l'effet de la différence des vitesses, la difficulté disparaîtra. Quand d dans l'image ordinaire occasionnera la destruction des rayons rouges, $d+\frac{1}{2}d$ correspondra, au contraire, à leur plus parfait accord dans l'image extraordinaire, et ces deux images

auront des teintes rigoureusement complémentaires, ce que l'expérience confirme.

Les couleurs que développe la lumière polarisée en traversant des lames cristallisées n'étant à la rigueur que des franges très-larges produites par interférence, nous devrons retrouver ici, en variant les épaisseurs de ces lames, les mêmes déviations apparentes des plans de polarisation que nous avons reconnues dans l'expérience où nous produisions des franges étroites à l'aide des rayons transmis par deux lames de sulfate de chaux dont les sections principales étaient perpendiculaires. Nous avons déjà dit que l'expérience a prononcé affirmativement sur cette analogie.

Je me tromperais fort si l'explication que je viens de donner n'obtenait pas l'assentiment des physiciens qui l'examineront avec toute l'attention convenable. Je terminerai ce chapitre en rapportant les formules qui donnent les intensités des images ordinaire et extraordinaire, pour le cas où le rayon polarisé a traversé une ou deux lames cristallisées, sous l'incidence perpendiculaire, leurs sections principales étant d'ailleurs dirigées comme on voudra. Commençons par le cas d'une seule lame.

L'unité représente l'intensité du faisceau primitif homogène;

i l'angle que la section principale de la lame fait avec le plan primitif de polarisation;

s l'angle de ce même plan avec la section principale du rhomboïde ou du prisme achromatisé, au moyen duquel on analyse la lumière émergente;

$o-e$ la différence de marche entre le faisceau ordi-

naire et le faisceau extraordinaire au sortir de la lame cristallisée ;

d a la signification que nous avons déjà donnée à cette lettre précédemment ;

π est le rapport du diamètre à la circonférence du cercle.

Cela posé, on a :

$$\text{l'image ordinaire} = \cos^2 s - \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi \frac{o-e}{d};$$

$$\text{l'image extraordinaire} = \sin^2 s + \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi \frac{o-e}{d}.$$

Quand le faisceau polarisé a traversé deux lames, il doit y avoir dans la formule un élément de plus, savoir l'angle que forme la section principale de cette seconde lame avec le plan primitif de polarisation. Appelons cet angle α, toutes les autres lettres conservant les mêmes significations et $o'-e'$ étant la différence de marche produite par la seconde lame : l'intensité de l'image ordinaire donnée par un faisceau de lumière homogène sera :

$$\cos^2 s + \sin 2\alpha \sin 2i \cos 2(\alpha + i - s) \sin^2 \pi \frac{o-e}{d}$$
$$- \sin 2\alpha \cos 2i \sin 2(\alpha + i - s) \sin^2 \pi \frac{o'-e'}{d}$$
$$- \cos^2 \alpha \sin 2i \sin 2(\alpha + i - s) \sin^2 \pi \frac{o-e+o'-e'}{d}$$
$$+ \sin^2 \alpha \sin 2i \sin 2(\alpha + i - s) \sin^2 \pi \frac{o-e-(o'-e')}{d}.$$

L'image extraordinaire s'obtient en retranchant cette formule de l'unité.

En calculant séparément d'après ces formules, les

intensités des rayons de diverses nuances qui composent la lumière blanche, on obtient la teinte du faisceau ordinaire ou celle du faisceau extraordinaire, soit que cette lumière préalablement polarisée ait traversé une ou deux lames cristallisées. Si dans le calcul on emploie, pour $o-e$ et pour $o'-e'$, les valeurs correspondantes aux doubles réfractions individuelles qu'éprouvent les différentes espèces de rayons, on trouvera entre les formules et l'expérience le plus parfait accord, même pour ces cristaux où les teintes dépolarisées paraissaient n'avoir aucune ressemblance avec celles des anneaux de Newton.

Les phénomènes des lames minces où l'on avait cru voir une démonstration inattaquable du système de l'émission, qui semblaient nécessiter les mouvements d'oscillations les plus singuliers, qui avaient amené à distinguer, dans les molécules lumineuses, un axe de rotation, des pôles, un équateur, voire même une précession des équinoxes ; ces phénomènes, dis-je, ne sont, comme on vient de le voir, que des conséquences immédiates des lois si fécondes des interférences.

CHAPITRE XII

SUR LA POLARISATION CIRCULAIRE

Le genre de polarisation dont il sera question dans ce chapitre est essentiellement différent de ceux qui nous ont occupés jusqu'ici.

Supposons que, après avoir polarisé un faisceau de lumière, on lui fasse éprouver, sous l'angle de 54°, une

double réflexion totale dans un parallélipipède de verre, comme la figure 9 le représente; supposons, de plus, que les nouveaux plans de réflexion soient inclinés de 45° au plan de polarisation primitive. Le faisceau émergent aura alors acquis des propriétés toutes particulières fort remarquables.

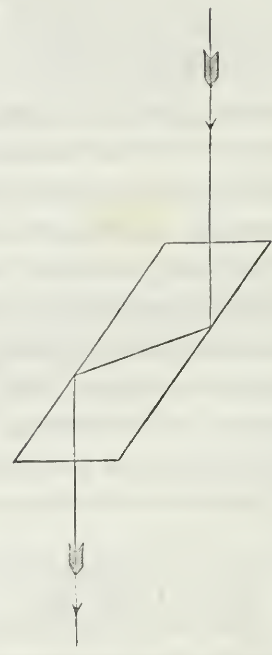


Fig. 9. — Nature d'un rayon polarisé après deux réflexions totales.

Quand on analyse ce faisceau émergent avec un rhomboïde, il se décompose constamment en deux rayons de même intensité, quelle que soit la direction de la section principale. D'après ce seul caractère on pourrait donc croire qu'il est redevenu de la lumière naturelle, mais

si on le fait passer au travers d'une lame cristallisée avant de le soumettre à l'action du rhomboïde, on découvre bientôt qu'il n'en est pas ainsi. La lumière naturelle donnerait en effet, dans ce dernier cas, deux images blanches et de même intensité, tandis que la lumière provenant du parallélipipède se décompose en deux faisceaux fortement colorés l'un et l'autre.

Voici d'autres caractères de cette nouvelle espèce de rayons :

Une ou plusieurs réflexions totales ne changent rien, comme je l'ai déjà remarqué (chap. VII, p. 326), aux propriétés apparentes de la lumière ordinaire ; mais elles modifient au contraire notablement le faisceau sorti du parallélipipède. Ce faisceau reprend, en effet, tous les caractères de la lumière polarisée quand on lui fait éprouver deux nouvelles réflexions totales pareilles aux premières, quel que soit d'ailleurs l'azimut des nouveaux plans de réflexion relativement aux anciens.

Je disais tout à l'heure que l'espèce de lumière dont il est ici question se décompose en deux images colorées, quand on ne l'analyse avec un rhomboïde qu'après lui avoir fait préalablement traverser une lame cristallisée. Mais il faut remarquer que la couleur de chacune de ces deux images sur le cercle chromatique de Newton est à un quart de circonférence de la place qu'y occupe la couleur que la même image aurait présentée si l'on s'était servi de lumière polarisée ordinaire.

Ajoutons enfin, comme dernier caractère distinctif, que la lumière polarisée ordinaire ne donne lieu à aucun phénomène de coloration après qu'on lui a fait traverser

des lames de cristal de roche perpendiculaires à l'axe, ou des colonnes d'essence de térébenthine, etc.

Un rayon polarisé, modifié par deux réflexions complètes, a donc des caractères tout particuliers et qui le distinguent également d'un rayon direct et d'un rayon polarisé ordinaire. Comme ces caractères ne se rapportent pas aux divers côtés du rayon, on a appelé la modification qu'il a reçue du nom de *polarisation circulaire*. J'avertirai ceux qui ne trouveraient pas cette dénomination suffisamment justifiée par les phénomènes précédents, qu'elle a été en partie puisée dans des considérations théoriques.

Je viens de montrer par quelles combinaisons de réflexions totales on passe de la polarisation ordinaire à la polarisation circulaire; il me reste à indiquer un autre moyen extrêmement remarquable d'obtenir immédiatement ce dernier genre de polarisation.

On taille, dans une aiguille de cristal de roche, un prisme très-obtus dont les deux faces formant entre elles un angle de 150°, par exemple, soient également inclinées sur l'axe de l'aiguille, et on l'achromatise ensuite le mieux possible avec des prismes de verre collés sur les faces d'entrée et de sortie[1]. Ce petit appareil jouit de la double réfraction; mais les deux faisceaux auxquels il

1. Cet achromatisme est toujours très-imparfait quand on se sert de prismes de verre. L'expérience est beaucoup plus nette si l'on adosse au prisme de 150° deux autres prismes de cristal de roche; mais il faut avoir l'attention de les prendre dans un cristal jouissant de propriétés inverses (voyez plus haut, p. 349, le passage relatif aux aiguilles plagièdres). Cette disposition présente de plus l'avantage de doubler l'écartement des images.

donne naissance, soit qu'il ait été traversé par de la lumière polarisée ou par de la lumière ordinaire dans une direction bien parallèle à l'axe du cristal, ne reçoivent pas la modification que le spath d'Islande, par exemple, leur imprimerait; ils sont l'un et l'autre polarisés circulairement. En effet, si on les analyse avec un rhomboïde, ils se partagent constamment l'un et l'autre en deux faisceaux de même intensité; et quand on leur a fait éprouver deux réflexions totales dans un parallélipipède de verre sous l'incidence intérieure de 54°, ils se trouvent complétement polarisés suivant des plans inclinés de 45° au plan de réflexion, le plan de polarisation d'un des faisceaux étant à droite et celui de l'autre à gauche.

Il existe donc un genre particulier de double réfraction qui communique aux rayons lumineux la polarisation circulaire, comme la double réfraction du cristal d'Islande leur donnait la polarisation ordinaire.

Il résulte, au demeurant, de tous les phénomènes et des lois générales des interférences, qu'un faisceau polarisé circulairement peut être considéré comme composé de deux faisceaux ordinaires polarisés à angles droits, mais dont l'un aurait été retardé dans sa marche relativement à l'autre du quart de la quantité que nous avons précédemment appelée *d*.

Les propriétés des rayons polarisés circulairement donnent un moyen très-curieux de reproduire exactement tous les phénomènes de coloration que nous ont offerts les lames de cristal de roche perpendiculaires à l'axe ou certains liquides.

On place, pour cela, une lame mince cristallisée entre

deux parallélipipèdes de verre ordinaire croisés à angles droits et semblables à celui dont nous avons donné plus haut la figure (p. 370). Un faisceau qui pénètre perpendiculairement dans le premier parallélipipède éprouve dans son intérieur une double réflexion totale sous l'angle de 54°; en sortant, il traverse la lame cristallisée; plus loin il pénètre dans le second parallélipipède et s'y réfléchit encore deux fois, mais dans un plan perpendiculaire à celui des deux premières réflexions; enfin le rayon rentre dans l'air perpendiculairement à la dernière face du second parallélipipède. Or on pourra toujours faire que ce rayon émergent présente les apparences d'un rayon polarisé qui a traversé une lame de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, ou une couche d'essence de térébenthine ; il suffira pour cela que le faisceau incident sur le premier parallélipipède soit polarisé et que l'axe de la lame cristalline intermédiaire fasse un angle de 45° avec les deux plans de double réflexion totale.

CHAPITRE XIII

DÉTAILS HISTORIQUES SUR LA DÉCOUVERTE DES DIVERSES PROPRIÉTÉS DE LA LUMIÈRE QUI SONT RELATIVES A DES PHÉNOMÈNES DE POLARISATION

Je vais maintenant citer les physiciens à qui l'on est redevable des découvertes dont j'ai essayé plus haut de faire apprécier l'importance. Je suivrai, pour plus de clarté, dans cet historique, l'ordre des chapitres, en consacrant à chacun d'eux un paragraphe particulier.

§ 1. — Découverte de la polarisation par Huygens dans les rayons provenant de la double réfraction. — Découverte par Malus des effets de la réflexion sur les rayons polarisés.

Huygens est, je crois, le premier qui ait reconnu que les deux rayons en lesquels un faisceau se partage dans l'acte de la double réfraction jouissent (chap. III, p. 295 à 302), en sortant du cristal, de propriétés toutes particulières que n'avait pas la lumière incidente. « Il semble, dit-il, qu'on est obligé de conclure que les ondes de lumière, pour avoir traversé le premier cristal de spath d'Islande, acquièrent certaine forme ou disposition, par laquelle en rencontrant le tissu d'un second cristal, dans certaine position, elles puissent émouvoir les deux différentes matières qui servent aux deux espèces de réfraction; et, en rencontrant ce second cristal dans une autre position, elles ne puissent émouvoir que l'une de ces matières. »

Ainsi, suivant ce grand physicien, dans l'acte de la double réfraction, l'onde, ou si l'on veut le rayon, change de forme, perd sa symétrie, de manière à donner lieu à la distinction de ses divers côtés, ou, en changeant seulement les termes, de ses divers pôles.

Huygens est donc le premier qui ait aperçu un phénomène de polarisation. Cette découverte est de l'année 1678, mais elle n'a été publiée qu'en 1690.

Depuis Huygens et jusqu'en 1809, aucun observateur, si l'on en excepte l'immortel auteur du traité d'Optique, ne s'était occupé de la double réfraction sous ce point de vue. Nous devons même reconnaître que, sous le rapport

des faits, Newton n'ajouta rien de nouveau à ce qu'avait découvert le savant hollandais. Il insista seulement beaucoup plus sur la nécessité d'admettre des pôles dans chacun des rayons provenant de la bifurcation qu'éprouve la lumière en traversant le cristal d'Islande.

C'est à Malus qu'appartient l'honneur d'avoir ramené l'attention des physiciens sur les curieuses propriétés de la lumière qui ont fait l'objet de cette Notice. C'est lui qui a signalé les singuliers phénomènes que les rayons ordinaires et extraordinaires présentent quand ils rencontrent des miroirs diaphanes sous certaines inclinaisons (chap. III, p. 303 à 306). C'est encore à lui qu'on est redevable de la loi mathématique qui paraît lier les intensités des divers faisceaux en lesquels la lumière se partage lorsqu'elle traverse deux rhomboïdes superposés. (Voir les *Mémoires d'Arcueil*, 1809, tome II.)

§ 2. — Découverte par Malus de la polarisation dans les rayons réfléchis.

Ce qu'on a rapporté dans quelques notices sur l'heureuse circonstance qui fit découvrir à Malus que les rayons se polarisent en se réfléchissant sur des corps diaphanes est exact. Ce physicien, qu'une mort prématurée a si tôt enlevé aux sciences dont il était l'espoir et à ses nombreux amis, m'a souvent raconté que ce fut en décomposant, par hasard, vers la fin de l'année 1808, à l'aide d'un rhomboïde de carbonate de chaux, la lumière du soleil couchant, réfléchie sur les vitres des fenêtres du Luxembourg, qu'il reconnut pour la première fois la différence

d'intensité des deux images[1]. Une semblable différence d'intensité avait dû se présenter aux yeux des minéralogistes toutes les fois qu'en essayant de découvrir la double réfraction des cristaux, l'aiguille déliée dont ils se servent comme point de mire, se projetait sur un ciel serein, c'est-à-dire sur un rideau de lumière polarisée; mais le fait ne les avait point frappés. Malus s'en saisit, aperçut toute son importance, le compléta, l'analysa sous toutes ses faces avec la plus rare sagacité, et devint ainsi le créateur d'une nouvelle branche de l'optique.

Toutes les expériences consignées dans le chapitre IV (p. 306 à 309) sont dues à ce célèbre physicien.

§ 3. — Observation des rayons partiellement polarisés par M. Arago.

Les mesures rapportées dans le chapitre V (p. 309 à 312) et d'où il paraît résulter qu'à égales distances angulaires au-dessus et au-dessous de l'angle de la polarisation complète, les rayons réfléchis contiennent des proportions presque égales de lumière polarisée, ont été prises par moi.

§ 4. — Découverte par M. Brewster de la loi qui lie l'angle de polarisation complète au pouvoir réfringent des corps. — Règle de Malus et théorème de M. Arago.

La loi remarquable, consignée dans le chapitre VI (p. 313 et 314), qui lie l'angle de la polarisation complète au pouvoir réfringent des corps, a été découverte

1. On s'est trompé en annonçant qu'il avait vu ainsi une des images disparaître : la polarisation sur les vitres, au moment de l'expérience, n'était que partielle.

par M. Brewster, et présentée à la Société royale le 16 mars 1815 (*Trans. philos.* de cette même année).

La règle (chap. VI, p. 319) qui enseigne à calculer l'angle de polarisation complète à la seconde surface des milieux diaphanes d'après l'angle de polarisation complète à la première est due à Malus (*Mémoires d'Arcueil*, 1809, tome II). La même relation doit être étendue aux angles de la première et de la seconde surface sous lesquels la lumière se polarise en proportions égales. La règle donnée par Malus n'est donc qu'un cas particulier d'un théorème général (p. 320) que j'ai déduit d'une longue suite d'expériences[1].

§ 5. — Découverte par Malus de la polarisation par la réfraction simple. — Découverte par M. Arago de l'égalité des quantités de lumière polarisée des faisceaux réfléchis et transmis. — Découverte des propriétés des piles de plaques par Malus. — Assimilation de certains corps naturels aux piles par M. Brewster.

C'est encore Malus qui a découvert (chap. VII, p. 321 et 322) que le faisceau transmis par un miroir diaphane

1. M. Arago a pris date de la découverte de ce théorème général par une communication faite à l'Académie des sciences le 13 février 1815, et dont le manuscrit, visé par Delambre, alors secrétaire perpétuel, est ainsi conçu :

« Le sinus de l'angle sous lequel un faisceau de lumière se polarise partiellement en tombant sur la première surface d'un miroir, est au sinus de l'angle sous lequel il reçoit une polarisation partielle équivalente en se réfléchissant sur la seconde surface, comme le sinus d'incidence est au sinus de réfraction ; en sorte que la loi que Malus a donnée, pour la polarisation complète, n'est qu'un cas particulier du principe général que je viens de rapporter ; on voit en un mot par là que la proportion de lumière naturelle qui se polarise lorsqu'un rayon se réfléchit sur la première surface d'un corps est égale à la proportion qui se polariserait si ce rayon, à l'état naturel, revenait sur ses pas du dedans au dehors. »

est partiellement polarisé dans un plan formant un angle droit avec le plan de polarisation du faisceau réfléchi. (Communiqué à l'Institut, le 11 mars 1811, imprimé le lendemain dans *le Moniteur*. Voyez aussi les *Mémoires de la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institut* pour l'année 1810.)

Les expériences photométriques que j'ai exécutées ont établi entre ces deux genres de polarisation une liaison qui avait échappé à Malus; elle est renfermée dans cet énoncé très-simple (chap. VII, p. 324) : la quantité de lumière polarisée contenue dans le faisceau que transmet un plan diaphane, est exactement égale à la quantité de lumière polarisée à angle droit qui se trouve dans le faisceau réfléchi par le même plan.

Ces expériences sont de 1812; mais elles n'ont été publiées qu'en 1814 par M. Biot, à qui je les avais communiquées. (Voyez *Recherches expérimentales et mathématiques sur les mouvements des molécules de lumière*. 1814, page L[1].)

La règle précédente conduit, comme cas particulier,

1. M. Biot s'exprime ainsi : « Quand un rayon lumineux direct tombe sur une glace polie sous l'incidence de 35° 25′ qui produit par réflexion la polarisation complète, la quantité de lumière réfléchie qui est ainsi polarisée est égale à la portion de lumière transmise qui est polarisée par réfraction perpendiculairement au plan d'incidence. Le reste du rayon transmis est formé par la portion de chaque faisceau qui passe directement sans perdre sa polarisation primitive. Ce résultat est conforme à l'expérience, car M. Arago l'avait observé par des moyens fort exacts et avait bien voulu me le communiquer avant que je l'eusse tiré de la théorie. M. Arago a de plus observé que cette égalité avait également lieu sous toutes les incidences, en comparant seulement les quantités de lumière polarisée qui se forment dans les rayons réfléchis et transmis. »

à cette conséquence que j'avais aussi indiquée, que sous l'angle de la réflexion totale et sous tous les angles plus petits, la lumière ne se polarise pas.

Les phénomènes présentés par des piles de plaques (chap. VI, p. 325 à 330) furent analysés par Malus, immédiatement après sa découverte de la polarisation par réfraction.

L'observation que certains corps naturels (p. 330), les agates, par exemple, agissent sur la lumière comme de véritables piles, est due au Dr Brewster. (*Treatise on new philosophical instruments*, 1813.)

§ 6. — Lois mathématiques de Fresnel reliant les divers plans de polarisation de faisceaux diversement réfléchis et réfractés.

Les lois, les formules et les expériences renfermées dans le chapitre VIII (p. 331 à 335) appartiennent à Fresnel. Malus avait déjà essayé de trouver comment les plans de polarisation se dévient; mais ceux de ses résultats qui ont été publiés (*Mémoires de l'Institut*, 1810) manquent, à plusieurs égards, d'exactitude. Les formules de Fresnel sont une des plus précieuses acquisitions que l'optique ait faites dans ces derniers temps.

La description des déviations qu'éprouve, en se réfléchissant, le plan de polarisation d'un faisceau préalablement polarisé, se trouve dans deux Mémoires présentés par Fresnel à l'Académie des sciences, le 24 novembre 1817 et au commencement de janvier 1818. Mais les lois mathématiques n'ont été découvertes et publiées qu'en 1821. (Voyez les *Annales de chimie et de physique*, tome XVII.)

§ 7. — Découverte par MM. Arago et Fresnel des modifications apportées dans les phénomènes d'interférence par la polarisation.

Fresnel et moi nous sommes jusqu'ici les seuls physiciens qui se soient occupés de la polarisation en tant qu'elle modifie les phénomènes d'interférence (chap. IX, p. 336 à 341). Le Mémoire où nous avons, pour la première fois, consigné les résultats que j'ai reproduits ici, a paru en 1819, dans les *Annales de chimie et de physique*, tome X[1].

§ 8. — Découverte par M. Arago de la polarisation colorée.

J'ai montré le premier (chap. X, p. 341 à 344) qu'en traversant des lames cristallines, les rayons polarisés ordinaires perdent leurs propriétés primitives et en acquièrent de nouvelles; celle, par exemple, de se décomposer dans le spath calcaire en deux faisceaux colorés et de se réfléchir sur les miroirs diaphanes, avec des teintes dont la nuance dépend du côté par lequel le miroir se présente au rayon. (Mémoire lu à l'Institut, le 11 août 1811, et imprimé dans les *Mémoires* pour la même année.)

M. Brewster a publié, en 1813, des observations analogues dans son *Treatise on new philosophical instruments.*

Il annonce que ses observations furent faites « avant qu'il eût vu le travail de M. Arago, comme aussi avant qu'aucun de ses compatriotes eût eu quelque connais-

1. Ce Mémoire ainsi que toutes notes ou autres Mémoires dus à M. Arago et cités dans cet historique sont insérés dans le tome I[er] des *Mémoires scientifiques*, tome X des *Œuvres*.

sance de ce qui avait été fait en France (*before any of his countrymen had any knowledge of what had been done in France.* Edinburgh, *Encycl.*, *Optics*, p. 587). »

A l'égard du premier point, un homme du mérite de M. Brewster doit être cru sur parole; mais ne me sera-t-il pas permis de faire remarquer que le Mémoire de M. Arago ayant été inséré par extrait dans le *Moniteur* du 31 août 1811[1], le savant secrétaire de la Société

1. On trouvera le Mémoire de M. Arago dans le tome Ier des *Mémoires scientifiques*, t. X des *OEuvres*. L'article du *Moniteur* du 31 août 1811 est ainsi conçu :

« La trop grande étendue du Mémoire de M. Arago ne nous permettant pas de l'insérer en entier dans ce journal, nous allons du moins en extraire les principaux résultats et y joignant une description succincte de quelques-unes des expériences qui ont servi à les établir.

« Si l'on examine un objet quelconque, la flamme d'une bougie, par exemple, au travers d'un rhomboïde de spath calcaire, les deux images qu'on apercevra seront à très-peu près de la même intensité et sans aucune couleur, soit que les rayons tombent immédiatement sur le cristal ou qu'ils aient préalablement traversé une lame de mica. Si l'on vise à la flamme déjà réfléchie par un miroir de verre, il y aura entre les deux images, pour certaines positions du rhomboïde, une différence d'intensité d'autant plus considérable que l'angle de réflexion approchera davantage de 35 degrés; à cette limite, comme on sait, une des images disparaît complétement; si l'on interpose maintenant la lame de mica de manière que les rayons réfléchis la traversent avant de tomber sur le rhomboïde, cette image reparaîtra, mais avec une couleur dépendante quant à sa vivacité et à sa nature, de l'épaisseur de la lame interposée et de l'angle plus ou moins considérable que les rayons lumineux feront avec sa surface; quelle que soit, au reste, cette inclinaison, les deux images seront toujours teintes de couleurs complémentaires, en sorte que si, en faisant varier la position de la plaque, l'une d'entre elles parcourt successivement et à plusieurs reprises toute la série des couleurs prismatiques, la seconde éprouvera des changements correspondants et tels qu'aux mêmes instants l'ensemble des couleurs des deux images formera toujours du blanc. Si on laisse

d'Edinburgh aurait probablement quelque peine à prouver sa seconde assertion.

Les phénomènes que présentent les lames perpendicu-

la lame de mica immobile et qu'on fasse au contraire tourner le prisme, les deux images changeront successivement de couleur et passeront par le blanc à chaque quart de révolution, du moins sous des incidences déterminées ; enfin si l'on fait décrire une circonférence entière à la lame de mica sans altérer l'angle qu'elle forme avec les rayons réfléchis, la même image disparaîtra quatre fois.

« Il résulte de là, comme on voit, que les plaques de mica, vulgairement connues sous le nom de talc de Moscovie, ont, comme les autres substances douées de la double réfraction, la propriété de dépolariser les rayons qu'une première réflexion avait déjà modifiés, mais avec cette circonstance extrêmement remarquable, qu'elles ne semblent pas agir de la même manière sur les molécules de diverses couleurs, puisque la seconde image, dans l'instant de sa réapparition, n'est pas blanche. Si les propriétés des rayons polarisés dépendent, comme on l'a supposé, de la disposition particulière des axes des molécules dont ils sont formés, on voit qu'il faudra admettre que, dans un rayon polarisé par l'influence d'un prisme de spath d'Islande, les axes des molécules des diverses couleurs sont parallèles, tandis que, lorsque ce même rayon aura traversé une lame de mica, les molécules de diverses teintes auront leurs axes situés de différentes manières.

« M. Malus a trouvé le premier que les deux faisceaux de rayons qu'un rhomboïde de carbonate de chaux a polarisés en sens contraire, se comportent différemment en tombant sur les corps qui les réfléchissent ; en combinant ces expériences avec celles que nous venons de rapporter, M. Arago énonce le résultat précédent sous un autre point de vue, qui sert à donner des idées plus claires de la modification singulière qu'éprouvent les rayons dans leur passage à travers le mica.

« Qu'on dispose horizontalement, par exemple, une lame de mica et qu'ensuite on fasse tomber sur sa surface des rayons lumineux réfléchis de haut en bas par un plan de verre et sous un angle égal à 35 degrés environ, il est facile de voir que les rayons de toutes les couleurs la pénétreront. Qu'on place ensuite en-dessous de la même lame un miroir de verre non étamé formant avec la verticale, mais en sens contraire, un angle égal à celui que le premier miroir fait avec cette ligne, il semble au premier aspect que ce deuxième

laires à l'axe ont aussi été décrits dans mon Mémoire de 1811 dont je viens de parler.

La règle suivant laquelle (p. 345) s'opère la déviation

miroir n'étant éclairé que par la lumière blanche qui a traversé le mica, devrait paraître sans couleur; cependant si l'on examine la lumière qu'il réfléchit, on la trouvera très-fortement colorée. On reconnaît de plus que si l'on fait tourner le miroir inférieur sans altérer l'angle qu'il forme avec l'horizon, quoique la lumière incidente se rencontre toujours sous la même inclinaison, il ne paraîtra pas constamment de la même teinte, mais qu'après chaque quart de révolution, à partir d'une portion quelconque, il réfléchira la couleur complémentaire de celle qu'il réfléchissait d'abord.

« M. Arago s'est assuré que la nature des couleurs qu'une lame de mica dépolarise dépend de l'épaisseur de la lame, car il a découpé dans la même feuille un plan qui dépolarisait les rayons bleus; la partie qui succédait à celle-ci produisait de nouveau une image bleue, et ainsi de suite.

« On conçoit d'après cela que si l'épaisseur de la lame varie fort rapidement et avec régularité, les points où elle dépolarisera telle ou telle autre classe de couleurs seront fort rapprochés les uns des autres et à peu près également espacés; aussi, dans cette circonstance, aperçoit-on des bandes colorées entièrement analogues à celles que Newton a décrites dans son *Optique*, mais dont la cause est différente.

« L'auteur rapporte ensuite les expériences qu'il a faites pour étudier les modifications que le changement d'inclinaison de la plaque aux rayons qui la traversent occasionne dans la production des couleurs. Il en résulte entre autres conséquences, qu'on peut à l'aide d'une simple lame très-mince de mica séparer successivement de la lumière blanche les divers rayons colorés dont elle se compose, et que cette méthode a sur toutes celles dans lesquelles on emploie des prismes, l'avantage que les images des objets ne sont point déformées.

« Toutes choses d'ailleurs égales, la faculté dont jouissent les lames de mica, de dépolariser diversement les rayons différemment colorés, s'affaiblit quand l'épaisseur de la lame diminue; et M. Arago s'est assuré qu'on peut les amener à un tel degré de ténuité que non-seulement elles ne font paraître aucunes couleurs, mais que même elles ne dépolarisent aucun rayon de lumière blanche lorsque leur plan est perpendiculaire à celui qui contient les rayons polarisés.

« Les lames de sulfate de chaux jouissent des mêmes propriétés

des pôles, soit à raison de la teinte particulière de chaque molécule lumineuse, soit à cause des épaisseurs plus ou moins considérables des plaques que ces molécules ont

que celles de mica ; mais comme les couleurs sont beaucoup plus vives avec les premières, M. Arago s'en est servi pour étudier la nature de celles qu'on y aperçoit quand on les éclaire avec des rayons non polarisés. Les bornes dans lesquelles nous sommes forcés de nous renfermer dans cet extrait, ne nous permettent pas d'indiquer les détails des expériences; nous nous contenterons de dire qu'il en résulte incontestablement, par exemple, que ce n'est pas uniquement dans les variations d'épaisseur de ces lames qu'il faut chercher la cause des couleurs comme on l'avait fait jusqu'ici, puisqu'en les faisant tourner sur elles-mêmes sans changer l'angle des rayons avec leur surface, elles passent par le blanc à chaque quart de révolution, et que dans les positions intermédiaires elles acquièrent différentes teintes.

« La propriété de dépolariser diversement les rayons différemment colorés n'appartient pas exclusivement aux corps minces lamelleux; car M. Arago rapporte dans son Mémoire une série d'expériences qu'il a faites avec des plaques de cristal de roche, bien polies, de plus de six millimètres d'épaisseur, et qui ont donné naissance à des phénomènes entièrement analogues aux précédents.

« On s'assure d'abord qu'une plaque de cristal bien régulièrement travaillée ne modifie en aucune manière les rayons directs, en la plaçant devant l'objectif d'une lunette prismatique ; car les deux images sont blanches, de la même intensité, et tout aussi bien terminées que lorsque le cristal n'y était point. Si l'on dirige ensuite la lunette vers une image réfléchie par un plan de verre non étamé, vers l'image du Soleil, par exemple, on trouve bientôt que lorsque l'axe fait un angle de 35 degrés environ avec la surface du miroir, on n'aperçoit qu'un des disques dans certaines positions du prisme intérieur; en plaçant immédiatement après le cristal de roche devant l'objectif, on voit la seconde image reparaître, mais teinte du rouge le plus vif. Dans l'instant même de cette réapparition, la première image, qui d'abord était blanche, se trouve teinte de la couleur complémentaire du rouge; du reste, les bords des deux soleils sont tout aussi bien terminés que lorsqu'on les observait directement. Si on laisse la plaque de cristal dans la même position et qu'on fasse tourner la lunette, on reconnaît qu'à chaque demi-révolution l'une et l'autre image parcourent toute la série des cou-

traversées, est due à M. Biot. Son Mémoire a été lu à l'Institut, en septembre 1818, et imprimé peu de temps après.

leurs prismatiques; en sorte que le soleil rouge devient successivement orangé, jaune, jaune verdâtre, vert bleuâtre, bleu et violacé : alors la lunette a déjà fait une demi-révolution; en continuant le même mouvement dans le même sens, l'image violacée passe au rouge, à l'orangé, et ainsi de suite, pendant que la seconde image parcourt de son côté les couleurs complémentaires de celles-là. Lorsqu'on laisse la lunette fixe, le mouvement du cristal dans son plan n'apporte aucun changement aux couleurs dont les deux images sont teintes; si l'on faisait l'expérience avec une lame de mica ou de sulfate de chaux, on verrait au contraire la même image s'évanouir à chaque quart de révolution. On obtient, au reste, des résultats entièrement analogues aux précédents, lorsque, au lieu d'employer des rayons polarisés par leur réflexion sur un miroir de verre, on se sert de ceux qui ont été modifiés par l'action d'un rhomboïde de spath d'Islande, ce qui est une nouvelle preuve de leur parfaite identité; mais avec la lunette prismatique on a d'abord l'avantage de se procurer des couleurs plus vives : les deux images étant bien terminées, il est prouvé que, dans leur dépolarisation, les rayons ne sont pas inégalement dispersés, comme on aurait pu le soupçonner sans cela; comme les rayons ne tombent sur le prisme intérieur qu'après avoir traversé les verres des diverses courbures dont se compose l'objectif, il en résulte encore que ces rayons ont éprouvé dans le cristal une modification permanente : enfin, cette méthode fournit le moyen de prouver que les couleurs des deux images sont bien exactement complémentaires. Il suffit pour cela de n'écarter les soleils qu'à moitié, car alors la partie commune aux deux disques reste parfaitement blanche pendant une révolution complète de la lunette, tandis que les deux segments qui débordent sont successivement teints, et à deux reprises différentes, de toutes les couleurs prismatiques. M. Arago indique dans son Mémoire le parti qu'on peut tirer de cette observation pour comparer entre elles les intensités des différentes parties du disque solaire.

« La plaque de cristal de roche n'agit de différentes manières sur les molécules de diverses couleurs que lorsque les rayons la traversent sous des incidences peu éloignées de la perpendiculaire, car si son plan restant toujours perpendiculaire à celui qui contient les rayons réfléchis, on l'incline peu à peu, on trouve bientôt une posi-

M. Herschel fils est l'auteur de la curieuse observation (p. 348) consignée dans le chapitre x sur les cristaux

tion pour laquelle on n'aperçoit qu'une seule image ; il est même possible de placer le cristal de telle sorte qu'il dépolarise entièrement la lumière, en agissant de la même manière sur les molécules de diverses natures dont se compose un rayon blanc.

« Quoique ces dernières expériences montrassent que les phénomènes que présente le cristal de roche ne dépendent pas de la position qu'il a dans son propre plan, comme dans le mica et le sulfate de chaux, la position de leurs sections principales avait une influence très-marquée sur l'apparition de la deuxième image ; il devenait intéressant de chercher à reconnaître si les seules substances cristallisées jouissent de la propriété de dépolariser diversement les rayons de différentes couleurs. Or, M. Arago annonce dans son Mémoire qu'il a trouvé des corps non cristallisés qui ont cette propriété à des degrés plus ou moins saillants. Les expériences qu'il rapporte ont été faites avec une plaque de flint-glass, un peu prismatique et de 0m.085 de côté, qui dans tous ses points dépolarise les rayons. Pour s'en assurer, voici la méthode qu'il indique.

« Lorsqu'on examine un objet quelconque à travers deux prismes jouissant de la double réfraction, on aperçoit, comme on sait, quatre images, excepté dans le cas où leurs sections principales sont parallèles ou perpendiculaires, soit que les rayons entrent immédiatement du premier prisme dans le second, ou qu'ils traversent, entre les deux, un nombre quelconque de milieux diaphanes non doués de la double réfraction : cependant si l'on interpose la plaque de flint-glass dont nous venons de parler, on s'aperçoit que cette règle n'est pas générale, car on voit aussitôt quatre images : dans quelques points elles sont respectivement teintes de couleurs complémentaires ; dans d'autres parties, et ce cas est le plus fréquent, les images sont parfaitement blanches. Toujours, au reste, la plaque se comporte comme si elle était cristallisée, puisque les deux nouvelles images disparaissent à chaque quart de révolution de la plaque, pourvu cependant qu'on ait le soin de faire toujours passer les rayons par les mêmes points, car il n'est pas rare de trouver deux parties contiguës dont les axes ne semblent pas dirigés dans le même sens.

« On voit par là que cette réapparition des images, qui semblait devoir fournir un moyen commode pour reconnaître à la fois l'existence de la double réfraction dans les substances cristallisées et la

plagièdres. (*Transactions of the philosophical Society of Cambridge*, tome Ier.)

direction des axes, n'est pas un caractère assez certain, puisqu'un morceau de flint-glass qui ne double pas les images satisfait aux mêmes conditions.

« M. Arago, qui, dans le mois de février dernier, avait présenté à la classe un Mémoire relatif aux anneaux colorés ordinaires, décrit dans la dernière section de celui dont nous faisons aujourd'hui l'analyse, un nouveau genre de bandes lumineuses, qu'à l'aide de certaines circonstances on rend très-sensibles sur des plaques même fort épaisses de quelques corps cristallisés.

« Les couleurs dont nous avons parlé précédemment, en nous occupant du cristal de roche, ne paraissent pas sur toutes les plaques de cette substance, parce qu'elles semblent nécessiter une disposition particulière dans les couches dont le cristal est formé; les bandes dont il s'agit ici s'aperçoivent distinctement dans tous les fragments de cristal de roche qu'on éclaire avec de la lumière polarisée, pourvu que leur épaisseur ne soit pas constante; dans une lentille, elles sont circulaires; dans un prisme on les voit rangées parallèlement à l'arête où se joignent ses deux faces, en sorte que leur forme dépend toujours de celle du milieu; pour certaines courbures des lentilles les anneaux sont très-apparents, même à la simple vue; dans d'autres cas, il est indispensable pour les voir de s'aider d'un prisme bien dispersif; le meilleur moyen, au reste, de les rendre saillants, c'est de regarder la plaque à l'aide d'un prisme de carbonate de chaux; car alors on voit chaque image bordée d'une belle série de bandes colorées et complémentaires l'une de l'autre; cette seule circonstance montrerait que ces anneaux proviennent des dépolarisations successives des rayons aux différentes épaisseurs de la plaque. Mais ce qui le démontre mieux encore, c'est que de quelque manière qu'on examine ces anneaux, ils disparaissent dans quatre positions respectivement rectangulaires du milieu sur lequel ils se forment.

« Les bornes dans lesquelles nous sommes forcés de nous renfermer nous obligent à supprimer plusieurs autres observations que l'auteur donne avec détail, et qui sont particulièrement relatives à cette dernière question ; mais, afin de présenter ces résultats sous un même point de vue, nous terminerons cet extrait par le résumé que M. Arago a placé à la fin de son Mémoire.

« Un rayon de lumière directe se partage toujours en deux fais-

L'extension des propriétés des lames perpendiculaires à l'axe, aux couches de certains liquides (p. 349), a été faite par M. Biot en 1815.

ceaux blancs et de même intensité, dans son passage à travers un rhomboïde de carbonate de chaux.

« Si l'on soumet la lumière dont se compose un quelconque de ces faisceaux à l'action d'un second rhomboïde, on reconnaîtra qu'elle ne ressemble plus à la lumière directe, puisque dans certaines positions de la section principale de ce deuxième cristal, elle n'éprouve plus la double réfraction. La découverte de cette belle propriété est due à Huygens.

« M. Malus a trouvé depuis que, dans la réflexion sur les corps diaphanes, la lumière est modifiée d'une manière analogue, en sorte qu'un rayon réfléchi sous un certain angle ressemble parfaitement à celui qui aurait traversé un rhomboïde de carbonate de chaux.

« On voit enfin, d'après les expériences que nous avons rapportées, qu'on peut en outre donner au rayon une telle modification, qu'il ne ressemble plus ni à un rayon de lumière directe ni à un rayon de lumière polarisée : ce nouveau rayon se distinguera de la lumière polarisée en ce qu'il donnera constamment deux images, et de la lumière directe, par la propriété qu'il a de se partager toujours en deux faisceaux complémentaires et dont les couleurs individuelles dépendent de la position du corps au travers duquel le rayon est passé.

« Un rayon de lumière directe, en tombant sur un corps diaphane, abandonne à la réflexion partielle une partie de ses molécules; un rayon de lumière polarisée est transmis en totalité (abstraction faite de l'absorption) lorsque le corps diaphane est situé d'une certaine manière par rapport aux côtés des rayons. Les diverses molécules dont se compose un rayon blanc qui a éprouvé la modification particulière dont il s'agit ici, ne se réfléchissent que successivement et les unes après les autres, dans l'ordre de leurs couleurs, pendant que le corps diaphane tourne autour du rayon en faisant toujours avec lui le même angle.

« Par conséquent, si un faisceau de lumière directe tombe sur un miroir de verre sous un angle de 35 degrés environ, et que, sans altérer cette inclinaison, on fasse tourner ce miroir autour du faisceau, on reconnaîtra que la quantité de lumière qui se réfléchit ou celle qui se réfracte est toujours la même; mais si le faisceau de rayons a été préalablement polarisé, on trouvera deux positions où

§ 9. — Découverte des lois de la dépolarisation par les lames cristallines parallèles à l'axe. — Recherches et expériences de Fresnel, de M. Arago, de M. Biot, de M. Herschel et du docteur Thomas Young.

Les lois de la dépolarisation (chap. XI, p. 349) qu'opèrent les lames cristallines parallèles à l'axe, se réduisent aux trois suivantes :

1° Le mouvement de la lame dans son plan n'altère pas les teintes des images fournies par un rhomboïde.

Ce résultat est implicitement compris dans mon premier Mémoire, puisqu'en décrivant tous les mouvements qui font varier les teintes, celui de la lame dans son plan ne s'y trouve pas indiqué.

2° Les teintes des deux images sont celles des anneaux colorés de Newton, réfléchis et transmis.

le corps paraîtra entièrement diaphane : si l'on suppose enfin que, les circonstances restant les mêmes, le miroir de verre soit éclairé par des rayons modifiés par une plaque de cristal de roche, il sera successivement teint, à chaque demi-révolution, de toute la série des couleurs prismatiques, tant par réflexion que par réfraction, avec cette particularité qu'au même instant ces deux classes de couleurs seront complémentaires.

« Les expériences que nous avons rapportées prouvent encore qu'il se forme sur les substances cristallisées des anneaux colorés dont l'apparition ne dépend pas uniquement des changements d'épaisseur, comme les anneaux colorés décrits par Newton ; ces derniers, en effet, se montrent sur tout corps très-mince qui varie d'épaisseur par des degrés insensibles, quelle que soit d'ailleurs la nature de la lumière incidente ; les autres ne paraissent sur les plaques un peu épaisses de cristal de roche que lorsqu'elles sont éclairées par de la lumière déjà polarisée. Aussi disparaissent-ils quatre fois pendant une révolution complète de chaque plaque.

« Puisque la plaque de flint-glass, dont nous avons parlé plus haut, ne double pas les images, on voit enfin qu'il existe des corps qui, n'ayant pas la double réfraction, se comportent par rapport aux rayons polarisés, comme s'ils étaient doués de cette propriété. »

Cette loi avait été donnée par M. Biot. M. Herschel a montré qu'elle n'est pas générale ; elle n'a donc plus aucune importance.

3° Dans un cristal d'épaisseur variable, les mêmes phénomènes de dépolarisation se reproduisent à des épaisseurs qui se suivent comme celles des anneaux colorés de Newton.

Quand on examine avec un rhomboïde un cristal taillé convenablement, dont les deux faces forment un angle et qui se projette sur un fond de lumière polarisée, chaque image paraît bordée de stries régulières parallèles à l'arête du prisme et également espacées. En décrivant ce phénomène, je le présentai comme une preuve suffisante de la troisième loi. L'Académie des sciences et Laplace, en particulier, n'admirent pas la démonstration. On demanda des mesures directes des épaisseurs ; M. de Rumford, qui était présent à la séance, offrit un instrument dont il s'était servi pour d'autres usages et qui semblait promettre une précision suffisante. On indiqua aussi le comparateur ordinaire. D'après ces invitations, je m'engageai à faire de nouvelles expériences ; mais M. Biot me gagna de vitesse. C'est donc à ce dernier physicien qu'appartient la démonstration de la loi des épaisseurs.

4° Les teintes dont brille chaque image peuvent être calculées d'après les lois des interférences, en tenant compte de la différence des chemins parcourus par les rayons ordinaire et extraordinaire.

Cette importante remarque est due au Dr Thomas Young, qui l'a publiée dans *le Quaterly Review*, année 1814, tome XI, pages 42 à 49.

Elle a donné la véritable clef de ces phénomènes.

Il est juste, toutefois, de remarquer que le célèbre physicien anglais n'avait expliqué ni dans quelles circonstances l'interférence des rayons peut avoir lieu, ni pourquoi on ne voit de couleurs qu'en éclairant les lames cristallines avec de la lumière polarisée, etc. Les nouvelles propriétés qu'il fallait combiner avec les lois ordinaires des interférences pour obtenir une explication complète des faits ont été découvertes par MM. Arago et Fresnel, comme on l'a vu au paragraphe 7 (p. 380). Les Mémoires dans lesquels Fresnel a donné cette explication, déduite ainsi d'une cause unique, sont de 1816 et 1818.

Les ingénieuses et délicates expériences dont j'ai fait usage (chap. XI, p. 351 à 367) dans la critique détaillée de la théorie de la polarisation mobile, sont dues à mon illustre ami Fresnel, l'un des physiciens de notre âge qui réunissent au plus haut degré l'esprit d'invention et l'habileté de l'expérimentateur. Les formules qu'on trouve à la fin du chapitre XI sont également de Fresnel.

§ 10. — Découverte par Fresnel de la polarisation circulaire.

Les phénomènes de la polarisation circulaire (ch. XII, p. 369 à 374) ont été découverts par Fresnel, qui les a décrits et analysés dans un Mémoire lu à l'Académie des sciences en novembre 1817 et dans un supplément présenté en janvier 1818. Les dernières recherches de l'auteur sur cette matière ont été insérées dans le *Bulletin de la Société philomatique*, livraison de décembre 1822 et livraison de février 1823.

CHAPITRE XIV[1]

OBSERVATIONS DÉTACHÉES — INSTRUMENTS NOUVEAUX FONDÉS SUR LES PROPRIÉTÉS DES RAYONS POLARISÉS

§ 1. — De la polarisation produite par les lames très-minces.

Nous avons vu précédemment que les deux parties d'un faisceau lumineux, transmises et réfléchies par un miroir de verre, sont polarisées l'une et l'autre, mais dans deux sens rectangulaires. Il n'en est pas ainsi de la lumière qui se décompose entre deux objectifs pour y former les anneaux colorés dont Newton s'est tant occupé. En analysant, à l'aide d'un rhomboïde, la lumière des anneaux transmis, on la trouve polarisée dans le même sens que celle des anneaux réfléchis.

Quelle que soit l'incidence, si la lumière directe ne traverse qu'une seule lame de verre, elle ne reçoit qu'une polarisation partielle, tandis que sous l'angle de 35° environ, la lumière des anneaux transmis est complétement polarisée.

Ces phénomènes seraient très-difficiles à concilier dans le système de l'émission; ils sont, au contraire, une conséquence nécessaire de l'hypothèse qu'une onde deux fois réfléchie dans la lame mince, concourt à la formation des anneaux transmis; ils semblent même pouvoir être considérés comme une preuve démonstrative de la doctrine des interférences : c'est particulièrement sous ce

1. Ce chapitre ne figure pas dans la traduction anglaise de l'article *Polarisation* insérée dans l'*Encyclopédie britannique;* les paragraphes 1, 2, 7 et 8 ont été écrits en 1824; les autres ont été ajoutés postérieurement à des époques différentes.

point de vue que j'ai pensé devoir leur consacrer ce paragraphe.

§ 2. — De la polarisation de la lumière dans l'atmosphère [1].

La lumière atmosphérique, celle qui forme la teinte appelée l'azur du ciel, est partiellement polarisée.

Près du Soleil cette polarisation est à peine sensible. Elle augmente graduellement à mesure qu'on s'éloigne de l'astre, et atteint son maximum quand la distance angulaire est de 90°.

Quand un rayon réfléchi forme un angle de 90° avec le rayon direct, ce dernier rayon a dû rencontrer le miroir réfléchissant sous un angle demi-droit. 45° est donc, sur l'atmosphère, l'inclinaison qui correspond à la polarisation maximum.

Ce résultat a été présenté comme une preuve à l'appui de la loi que nous avons rapportée dans le chapitre VI, page 315; mais il aurait fallu remarquer, d'une part, qu'il n'y a dans l'atmosphère que polarisation partielle, tandis que la loi en question est relative aux polarisations complètes, et de l'autre, que la réflexion qui amène les rayons du Soleil à l'œil, dans une direction formant un angle de 90° avec les rayons directs, a dû s'opérer sur les molécules et non pas sur les couches atmosphériques; dans l'ignorance où nous sommes sur la densité de ces molécules, le phénomène de la polarisation atmosphérique ne se rattache point à ceux que présentent les miroirs diaphanes et conserve un caractère spécial.

1. Voir l'Appendice pour l'époque de la découverte de quelques-uns des phénomènes dont il est question dans ce paragraphe.

Voici, du reste, quelques particularités nouvelles qui me semblent bien dignes de remarque.

Imaginons que, sur le soir, on étudie la polarisation de la lumière atmosphérique dans toute l'étendue d'un plan vertical passant par le Soleil. Comme nous l'avons déjà dit, l'intensité de la polarisation ira graduellement en augmentant quand le point de mire s'éloignera de l'astre de l'occident à l'orient; le maximum sera à 90°; plus loin la polarisation deviendra de moins en moins apparente; bientôt, enfin, on atteindra un point où l'on n'apercevra aucune trace de polarisation sensible. Au delà de ce point neutre, la lumière est de nouveau polarisée, mais négativement, ou, en d'autres termes, à angle droit avec le sens de la polarisation antérieure. Si l'image ordinaire fournie par un rhomboïde était la plus intense depuis le Soleil jusqu'au point neutre, ce sera, au delà de ce point, l'image extraordinaire qui jouira de la même propriété.

Tous ces phénomènes sont visibles même après le coucher du Soleil. A mesure que l'astre descend sous l'horizon, le point neutre s'élève au-dessus de ce plan et avec une telle régularité qu'en déterminant sa position, on peut en déduire assez bien celle du Soleil lui-même. C'est, il me semble, un résultat digne d'attention.

§ 3. — Horloge polaire.

L'horloge polaire est un instrument d'optique destiné à indiquer l'heure par l'observation du plan de polarisation de la lumière du ciel bleu dans la direction du pôle.

Elle repose sur ce principe que j'ai découvert, que la lumière, en un point quelconque du ciel bleu, est polarisée dans le plan qui passe par l'œil de l'observateur et du Soleil; d'où il résulte que, si l'observateur vise toujours au pôle nord, le plan de polarisation coïncidera à chaque instant avec le cercle horaire du lieu de l'observation.

L'idée de faire servir les changements de couleur des lunules du polariscope, pointé dans une direction donnée sur un ciel serein à la détermination de l'heure, l'idée de faire un cadran chromatique remonte à 1816. A cette époque, je m'en entretins plusieurs fois avec M. de Humboldt; mais n'ayant, je crois, rien publié à ce sujet, l'honneur de la construction de l'horloge polaire, je le reconnais avec empressement et sans réserve, revient exclusivement à M. Wheatstone qui a présenté en 1849, à l'Académie des sciences de Paris, une horloge polaire exécutée par M. Soleil. Au reste, la méthode, indépendamment des incertitudes inhérentes à l'observation des couleurs, est sujette à des difficultés très-graves, provenant de la manière dont les réflexions multiples modifient les lois simples de la polarisation atmosphérique, quand le ciel est partiellement couvert.

A cette occasion je rappellerai un cas de changement de couleur très-curieux, très-étrange, en ce sens qu'il s'observe sur certains corps, par un ciel serein, à l'œil nu, sans l'intermédiaire d'aucun cristal.

Placez un de ces corps (j'ai donné le moyen de les préparer) de manière qu'au coucher du Soleil, par exemple, il soit placé entre le Soleil et le couchant. Ce

corps sera, je suppose, vert. Il paraîtra vert également, si, sans rien changer aux positions relatives de l'œil et du corps, on se tourne vers le levant. Si, au même moment, tout restant dans le même état quant à la position et à l'inclinaison du rayon visuel, on regarde le corps dans la direction du sud ou dans celle du nord, il paraîtra d'un rouge vif. Dans les directions intermédiaires, les couleurs du corps sont des mélanges de rouge et de vert dans lesquels ces deux espèces de rayons prédominent chacune à leur tour.

§ 4. — Des modifications que la polarisation apporte aux phénomènes d'absorption.

La lumière éprouve en traversant tous les corps diaphanes connus une absorption plus ou moins considérable que les physiciens ont essayé de mesurer, mais dont ils n'ont donné jusqu'ici aucune théorie satisfaisante. Dans l'état actuel de nos connaissances, l'absorption est peut-être le fait le moins bien expliqué de toute l'optique.

Personne n'ignore que la lumière blanche se colore fortement en traversant un grand nombre de milieux solides ou liquides. Il est clair, en ce cas, qu'une partie des rayons dont cette lumière était primitivement composée a dû être arrêtée dans son trajet à travers les molécules du corps. Si les rayons qui manquent dans le faisceau transmis se trouvaient dans la lumière réfléchie, le phénomène pourrait aisément se rattacher à celui des anneaux colorés; mais malheureusement il n'en est pas ainsi et il suffit pour s'en convaincre de remarquer que les milieux colorés sont souvent de la même teinte par

réflexion et par transmission. Il y a donc de la lumière perdue, mais comment? Dire qu'elle a été absorbée, c'est substituer un mot à un autre mot! La lumière perdue, suivant quelques auteurs, est celle qui a choqué les molécules matérielles du corps; l'autre portion a passé dans les interstices; mais qu'on explique, dans ce système, comment il arrive, par exemple, que certains verres bleus absorbent simultanément des rayons qui dans le spectre occupent le milieu du rouge, l'orangé, la plus grande partie du jaune, le milieu du bleu, l'indigo, tandis que toutes les nuances intermédiaires passent librement. Par quelle chance bizarre les points matériels auraient-ils obstrué la route d'un certain rayon rouge et nullement celle des rayons de même nuance, mais plus ou moins avancés seulement dans l'ordre de réfrangibilité ?

On ne rencontre pas de moindres difficultés lorsqu'on suppose, avec plusieurs physiciens distingués, que l'absorption est un phénomène chimique, dépendant comme tous les autres phénomènes de ce genre, de l'action plus ou moins forte que la matière du corps exercera sur les molécules de diverses espèces dont la lumière blanche est composée; et, en effet, il existe des substances cristallines qui présentent telle couleur particulière quand les rayons la traversent dans une certaine direction et une couleur toute différente si le sens de la transmission est changé. Dans ce nombre, je citerai particulièrement le sel remarquable découvert par Wollaston en 1804 et qui est du chlorure double de potassium et de palladium ; il offre le long de l'axe du prisme à quatre faces dans le-

quel il cristallise, un rouge intense, et dans une direction transversale un vert d'une grande vivacité. Je citerai aussi la dichroïte ou iolite, silicate triple d'alumine, de magnésie et de protoxyde de fer, qui est d'un beau bleu dans la direction de l'axe, et d'un gris jaunâtre dans une direction perpendiculaire à cette ligne.

Les phénomènes dont je vais parler sont encore plus singuliers, et ils ne feront que compliquer davantage, s'il est possible, la question de l'absorption. Ici, en effet, la teinte du faisceau transmis changera quoique le corps se présente aux rayons incidents par les mêmes faces et sous les mêmes inclinaisons. Pour amener ce résultat, il nous suffira de changer l'orientation de la face d'entrée, de la faire tourner dans son propre plan, d'amener à droite l'arête qui était à gauche, etc.

On a découvert que dans quelques échantillons de cristaux doués de la double réfraction, l'absorption est notablement modifiée et par l'espèce de polarisation qu'a pu recevoir le faisceau incident et par la position de l'axe du cristal. Ce sont ces curieux phénomènes que je vais décrire ici aussi succinctement qu'il me sera possible.

Certains échantillons de sulfate de baryte ont une teinte violacée assez apparente. Taillons un de ces échantillons dans un certain sens et de manière que les faces opposées soient parallèles. Supposons maintenant qu'un faisceau blanc polarisé traverse le cristal dans une direction perpendiculaire aux deux faces artificielles. Le faisceau était blanc en entrant, il sortira peut-être avec une teinte violette ; jusqu'ici l'expérience ne présente rien de remarquable : tout verre violet aurait produit le même

effet. Mais si ce verre tournait dans son plan, il n'en résulterait aucun changement ni dans la nature de la teinte transmise ni dans sa vivacité; tandis qu'un mouvement analogue du cristal, les faces d'entrée et de sortie demeurant toujours perpendiculaires au faisceau incident, pourra amener un changement total dans la couleur du faisceau transmis. Ainsi ce faisceau qui, par hypothèse, était d'abord violet, deviendra jaune verdâtre, quand le cristal aura tourné sur lui-même de 90°.

On sentira toute la singularité de ce phénomène si l'on veut bien remarquer que, dans les deux positions rectangulaires du cristal, le faisceau lumineux en passant de la première à la seconde face, a rencontré les mêmes molécules matérielles; que l'orientation de ces molécules, relativement au plan primitif de polarisation, ayant seule varié, a dû seule aussi occasionner le changement de couleur du faisceau transmis.

Il résulte de ces expériences qu'un faisceau de lumière directe auquel on a fait traverser certains cristaux de sulfate de baryte, ne doit plus se décomposer dans un rhomboïde de carbonate de chaux en deux images semblables et de même intensité; et, en effet, l'une des images est violacée et l'autre jaune verdâtre.

Puisque dans une position déterminée du sulfate de baryte, les rayons qui le traversent, s'ils sont polarisés dans divers plans, n'éprouvent pas des absorptions pareilles, les deux faisceaux ordinaire et extraordinaire en lesquels la lumière directe se divise à l'instant où elle pénètre dans le cristal, doivent quand ils en sortent avoir des intensités et des nuances dissemblables. Il n'est

donc plus permis maintenant de dire que tout cristal doué de la double réfraction partage la lumière naturelle en deux images d'égale intensité.

Comme il n'y a que les cristaux colorés et doués de la double réfraction qui jouissent des propriétés singulières dont je viens de parler, il était naturel de penser qu'à travers des plans perpendiculaires à l'axe, on n'observerait rien de pareil : l'expérience a confirmé cette conjecture. On ne sait pas encore bien suivant quelles lois les teintes varient quand on passe graduellement des coupes parallèles à l'axe aux coupes perpendiculaires.

§ 5. — Polarisation par réfraction de la lumière qui fait voir les corps. — Couleur propre des corps. — Cyanométrie.

Peu de temps après la découverte de la polarisation chromatique, je reconnus que les rayons qui font voir les corps viennent de leur intérieur, car ils sont polarisés par réfraction ; ce fait a été, quelque vingtaine d'années après, publié comme une découverte par des physiciens allemands. Je n'ai pas réclamé, soit parce que je n'ai pas eu une connaissance suffisante de leurs Mémoires, soit, quoique mes observations fussent connues et professées dans tous les cours de physique de Paris, parce que je croyais que par négligence j'avais oublié de publier mon observation ; mais j'ai trouvé que la notoriété provenant d'une publication ne me manquait pas. En effet, dans les *Annales de chimie*, année 1817, tome IV, page 98, j'ai écrit ce passage[1] :

1. La Note du tome IV de la 2e série des *Annales de chimie et de physique* est insérée ci-après à l'Appendice.

« Les rayons qui forment la couleur propre des corps émanent de leur intérieur. Ce qui paraît surtout le prouver, c'est qu'ils sont polarisés sous toutes les inclinaisons, comme de la lumière transmise, ainsi que je l'ai reconnu même pour la couleur des métaux. »

Dans cette même Note des *Annales de chimie et de physique*, j'employai comme procédé cyanométrique la lumière réfléchie au lieu de la lumière transmise à travers une pile de plaques, comme je l'ai fait depuis.

J'insiste sur l'observation que j'avais faite que les rayons qui forment la couleur propre des corps, même celles des métaux, émanent de leur intérieur, puisque ces rayons sont polarisés par réfraction.

Tout cela est antérieur au Mémoire de M. Bénédict Prevost, dans lequel il soutient, mais sans le prouver, que la lumière qui fait voir les corps colorés vient de l'intérieur.

Dans cette même Note se trouve indiqué le moyen de rendre les observations de dispersion de diverses substances exactement comparables. Ce moyen consiste à viser avec un verre bleu aux bandes obscures que présente alors le spectre prismatique.

Les procès-verbaux des séances du Bureau des longitudes constatent que le 20 janvier 1839, j'ai cité une expérience que j'avais faite au sujet de la lumière par laquelle on voit une plaque de porcelaine. La quantité de lumière polarisée est la même, quand on regarde en dehors de la direction du rayon réfléchi régulièrement, qu'on ait éclairé le corps soit par de la lumière neutre, soit par de la lumière polarisée dans un sens ou dans un autre.

J'en ai conclu que la lumière par laquelle on voit les corps s'est formée sous l'influence de la lumière incidente. C'est une sorte de phosphorescence instantanée qui disparaît avec la cause qui l'a fait naître. Telle était l'opinion d'Euler, qui n'avait pas donné de preuves à l'appui.

Je crois devoir prémunir les physiciens qui voudraient répéter mes expériences sur la lumière propre des corps, contre une cause particulière d'erreur qui me donnerait trop raison. Les verres opalins fabriqués dans nos verreries ont presque tous des axes de réfraction très-prononcés. Ils se comportent, relativement aux rayons polarisés qui les traversent, comme les lames douées de la double réfraction, et les dépolarisent dans les mêmes circonstances. Seulement, la dépolarisation, dans les positions les plus favorables de ces verres, ne paraît pas aller, comme avec les cristaux ordinaires, jusqu'à donner deux images d'intensités parfaitement égales dans le cristal analysateur primitif.

§ 6. — Sur la lumière des corps incandescents. — Application à la recherche de la constitution physique du Soleil.

Le 14 juin 1824 j'ai rendu compte à l'Académie des sciences des expériences que j'avais faites, il y avait déjà longtemps, sur la lumière des corps incandescents. J'ai reconnu que cette lumière, si les corps sont solides ou gazeux, est partiellement polarisée par réfraction quand les rayons observés forment avec la surface de sortie un angle d'un petit nombre de degrés. Quant à la lumière des gaz enflammés, elle ne présente sous aucune incli-

naison des traces de polarisation sensibles. J'ai tiré de ces expériences la conséquence qu'une portion notable de la lumière qui nous fait voir les corps incandescents, se forme dans leur intérieur et jusqu'à des profondeurs non encore complétement déterminées. Le même moyen d'observation peut être appliqué à l'étude de la constitution physique du Soleil ; les résultats que j'ai obtenus dans cette recherche confirment les conjectures de Bode, de Schrœter, d'Herschel.

Ce paragraphe est extrait textuellement du tome XXVII, p. 89, des *Annales de chimie et de physique*.

§ 7. — Des anneaux colorés qui se forment à l'aide de la lumière polarisée, autour des axes optiques des cristaux. — Cristaux à un seul axe.

Concevons qu'une plaque cristalline à un seul axe optique, comprise entre deux plans parallèles perpendiculaires à cet axe, soit traversée rectangulairement par un faisceau polarisé ; si l'on analyse la lumière émergente, soit par réflexion, à l'aide d'un miroir de verre, disposé de manière à se laisser traverser librement par les rayons qui conserveraient leur polarisation primitive, soit avec une lame de tourmaline dont l'orientation, au contraire, soit telle qu'elle doive arrêter ces mêmes rayons, on n'aperçoit qu'une seule nuance sensible et uniforme dans tous les points de la plaque, pourvu qu'à raison de sa petite étendue ou de sa distance à l'œil, les rayons polarisés qui la traversent puissent être considérés comme parallèles : mais il n'en est plus de même toutes les fois que les rayons menés de la pupille aux divers points de la plaque

sont sensiblement inclinés à sa surface ; or, cela arrive nécessairement, quelle que soit l'étendue de la plaque, quand on l'observe de très-près. Alors celui de ses points que le rayon perpendiculaire rencontre paraît entouré d'un grand nombre d'anneaux colorés circulaires, séparés en quatre parties égales par une belle croix obscure dont les branches s'élargissent beaucoup à mesure qu'on s'éloigne du centre (fig. 10). Les anneaux s'arrêtent à la

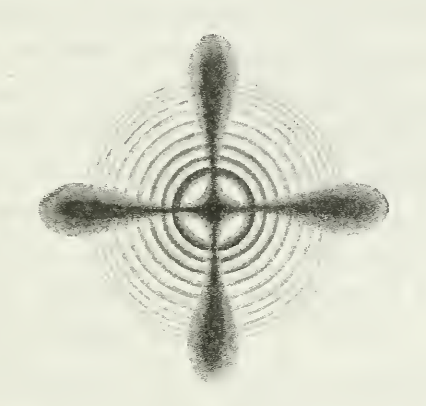


Fig. 10. — Anneaux formés par de la lumière polarisée ayant traversé un cristal à un seul axe.

croix, ils n'en traversent pas les branches ; ils vont tous seulement s'y perdre par une dégradation d'intensité fort rapide.

Si l'on emploie pour faire cette expérience de la lumière polarisée homogène, on voit encore une nombreuse série d'anneaux lumineux, mais alors ils n'offrent qu'une seule nuance, et ils sont séparés par une série intermédiaire d'anneaux obscurs.

Pour chaque espèce de lumière homogène et pour chaque nature de substance, les carrés des diamètres

des anneaux de même rang dans des plaques d'épaisseurs différentes, sont en raison inverse des racines carrées de ces épaisseurs.

D'habiles physiciens ont longtemps soutenu que les anneaux des lames cristallisées perpendiculaires à l'axe, quand ils sont produits avec de la lumière blanche, présentent le même ordre et la même dégradation de nuances que les anneaux ordinaires dont le point de contact de deux lentilles de verre superposées est entouré ; mais on trouve des exceptions à cette règle beaucoup trop frappantes pour qu'il ne faille pas en conclure que jamais elle n'est rigoureusement exacte, et qu'alors même qu'elle semble applicable, il suffirait, pour trouver des anomalies, de substituer à la simple inspection de la bande colorée un moyen d'observation moins imparfait. Le cristal connu sous le nom d'*apophyllite* (silicate double hydraté de chaux et de potasse) est celui qui montre peut-être au plus haut degré à quel point il faut se garder d'admettre l'assimilation proposée. Dans ce cristal, en effet, les anneaux que la polarisation développe, au lieu de présenter les teintes vives et dégagées de ceux que Newton a décrits avec tant de détails, sont alternativement blancs et d'un violet très-sombre, presque noir. Aussi, comme il fallait s'y attendre, quand on fait l'expérience avec de la lumière homogène, trouve-t-on que les diamètres des anneaux sont à peu près les mêmes dans toutes les couleurs; ajoutons que les très-petites différences qu'on y remarque ne suivent pas, en tous cas, l'ordre des réfrangibilités ; les diamètres des anneaux rouges, par exemple, sont exactement égaux à ceux de la lumière placée aux

confins du bleu et de l'indigo ; les diamètres des anneaux verts un tant soit peu plus petits, et ceux des anneaux violets légèrement plus grands. Dans certaines variétés assez rares d'apophyllite, les anneaux ne sont pas égaux, mais au lieu de diminuer quand on passe des rayons rouges aux rayons les plus réfrangibles, ils augmentent, au contraire, très-rapidement et de telle sorte que les anneaux correspondants aux rayons d'une moyenne réfrangibilité ont des diamètres infinis. Plus près de l'autre extrémité du spectre, les diamètres deviennent de nouveau finis, mais ceux des rayons violets surpassent toujours beaucoup les diamètres des anneaux rouges. Il résulte de là qu'en employant de la lumière blanche on devait trouver dans les anneaux composés de ces variétés d'apophyllite, un ordre de couleurs précisément inverse de celui que présentent les anneaux de Newton, comme l'expérience l'a montré.

Ceux que ce genre de recherches pourrait intéresser trouveront dans l'hyposulfate de chaux un cristal qui donne aussi naissance à des anneaux dont les teintes ne sauraient être assimilées à celles des anneaux newtoniens. Le carbonate de chaux, le béryl, la tourmaline et même la glace (eau congelée) leur offriront, au contraire, une distribution des nuances prismatiques peu différente de celle des anneaux ordinaires.

A l'œil nu, la lame cristalline paraît tout à fait blanche ; la tourmaline ou le miroir réfléchissant dont nous nous sommes servis pour analyser le faisceau transmis ne nous ont fait apercevoir des couleurs qu'en tamisant diversement deux séries d'anneaux de même diamètre dont les

teintes étaient complémentaires et qui s'étaient jusque-là neutralisées.

Les deux séries étant polarisées dans deux plans rectangulaires, quand l'une traversait librement le miroir ou la tourmaline, l'autre devait se réfléchir. Pour voir les deux séries simultanément, il faut examiner la plaque à l'aide d'un cristal doué de la double réfraction ; alors si l'une des suites forme l'image ordinaire, l'autre passe tout entière à l'image extraordinaire ; alors si la première offre une croix noire, la seconde présentera une croix blanche de mêmes dimensions, etc., etc.

J'ai supposé jusqu'ici que la lame en expérience avait ses faces rigoureusement perpendiculaires à l'axe du cristal et qu'elle était rencontrée rectangulairement par le faisceau polarisé ; c'est là ce qui donnait aux anneaux de toutes les nuances une figure exactement circulaire ; mais lorsqu'une de ces conditions ou toutes les deux à la fois cessent d'être satisfaites, les anneaux deviennent elliptiques.

Les phénomènes de coloration dont je viens de rendre compte, et qui se manifestent par une formation d'anneaux, n'apprennent rien de neuf concernant les modifications que la lumière polarisée éprouve en traversant les lames cristallisées; ils montrent seulement d'un coup d'œil les effets qui résultent des inclinaisons différentes sous lesquelles les rayons transmis se présentent à l'axe de la lame, ce qui peut être commode dans quelques circonstances; car lorsque le cristal était coloré d'une seule nuance, à cause du parallélisme approché du faisceau éclairant, pour étudier l'ordre de succession des couleurs

prismatiques il fallait faire une expérience particulière à chaque inclinaison. La croix noire elle-même exige à peine une remarque spéciale : qui n'a vu, en effet, qu'elle n'est pas autre chose que la série de points du cristal dont la situation par rapport à l'œil se trouve telle que les rayons qui les traversent conservent leur polarisation primitive ?

§ 8. — Cristaux à deux axes.

Les cristaux à un seul axe ne donnent jamais qu'une série d'anneaux ; deux séries distinctes existent dans les cristaux à deux axes, mais on ne peut pas toujours les voir simultanément.

Pour apercevoir les anneaux des cristaux dont nous venons de nous occuper, il suffit que, dans le faisceau polarisé transmis par la lame, un rayon ait suivi la direction de l'axe et qu'il soit au nombre de ceux qui entrent dans l'œil.

Il faut précisément la même condition dans les cristaux à deux axes. Si parmi le faisceau de rayons transmis par la lame compris dans le champ de la vision, deux se sont mus dans la direction des deux axes, un système d'anneaux s'apercevra autour de chacun de ces rayons. Quand on voudra comparer d'un coup d'œil les deux séries d'anneaux, il faudra donc, pour se soustraire à l'obligation de regarder très-obliquement dans l'appareil, choisir des cristaux dont les deux axes ne fassent pas entre eux de trop grands angles. Ceux de nitre, par exemple, sont dans ce cas.

Ce sel cristallise sous la forme d'un prisme hexaèdre régulier et il a deux axes optiques contenus dans un plan parallèle à l'axe géométrique du prisme. Coupons un cristal prismatique de nitre par deux plans perpendiculaires à son axe géométrique et éloignés l'un de l'autre de 4 à 6 millimètres.

Plaçons la lame qui en résultera soit entre les deux miroirs réfléchissants, soit entre les deux tourmalines dont nous nous servions tout à l'heure, et à l'instant nous

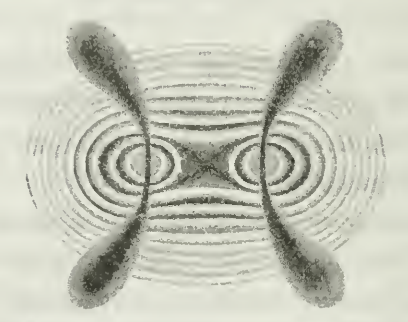


Fig. 11. — Anneaux formés par de la lumière polarisée ayant traversé un cristal à deux axes.

apercevrons deux séries d'anneaux de la plus grande beauté, autour des deux points de la plaque qu'on a appelés du nom de *pôles* et qui sont les points dans lesquels elle est rencontrée par les rayons visuels situés sur les prolongements des axes optiques. En examinant le phénomène avec attention, on verra d'abord autour de chaque pôle un certain nombre d'anneaux isolés ; ensuite on découvrira un anneau de la première série qui croisera sur son contour un anneau de la série voisine, de manière à former par leur réunion une espèce de 8 ; plus loin, un seul et même anneau entourera les deux pôles ; mais il

offrira, vers le milieu de la ligne qui les sépare, une inflexion très-sensible.

Dans les anneaux suivants, la flexion paraîtra de moins en moins visible; enfin, bientôt, les anneaux n'auront qu'une seule courbure. La figure ci-jointe (fig. 11) rendra de plus amples explications inutiles.

Quand on fait tourner la lame de nitre dans son plan, les anneaux tournent uniformément; ils conservent exactement la même forme et la même situation à l'égard des pôles ou des molécules du cristal : on n'observe de variation que sous le rapport de l'intensité. Il n'en est pas de même des bandes noires.

Les anneaux provenant des cristaux à deux axes lors même qu'on n'en voit qu'une seule série, peuvent, au premier coup d'œil, être distingués des anneaux auxquels les cristaux à un seul axe donnent naissance. Ceux-ci, en effet, sont toujours coupés par les quatre branches rectangulaires d'une croix noire ayant pour origine commune le centre des anneaux; tandis que les autres sont traversés seulement dans leurs pôles par une bande obscure qui est droite ou courbe suivant la position du cristal.

§ 9. — Des anneaux colorés.

Le Mémoire que j'avais écrit au sujet des anneaux colorés en 1811 n'a été imprimé en partie que dans le IIIe volume des *Mémoires d'Arcueil*, en 1817 [1]. Voici les faits principaux qu'il renferme :

1. Il est inséré au tome Ier des *Mémoires scientifiques*, t. X des *Œuvres*.

Les rayons qui forment les anneaux colorés par réflexion, entre deux lentilles de verre commun, sont polarisés sous les mêmes inclinaisons que la lumière ordinaire; il n'en est pas ainsi des rayons dont se composent les anneaux transmis. Ces rayons, examinés sous une inclinaison convenable, paraissent aussi polarisés, mais dans le même sens que les rayons des anneaux réfléchis, tandis que la lumière ordinaire éprouve dans les mêmes circonstances une polarisation par réfraction ou perpendiculaire à celle du rayon réfléchi.

Sous l'angle de 35° des rayons polarisés perpendiculairement au plan de réflexion ne forment point d'anneaux. Si donc on voulait persister à admettre l'explication de Newton, on serait inévitablement amené à supposer que les rayons lumineux, dans certaines circonstances, perdent la propriété des accès. Les anneaux produits autour du point de contact d'une lentille de verre commun et d'un miroir métallique sont polarisés sous l'angle de 35°, comme s'ils s'étaient formés autour du point de contact de deux lentilles de verre; mais au-dessous de l'angle de polarisation les deux images visibles avec un cristal doublement réfringent sont dissemblables. Toutes les observations faites à ce point de vue montrent, en opposition complète avec les opinions newtoniennes, que les pouvoirs réfringents des corps entre lesquels la lame mince est contenue, exercent une grande influence sur le phénomène des anneaux.

J'avais établi la conformité de mes observations avec la théorie des anneaux de Young, fondée sur la doctrine des interférences, particulièrement en ce qui se rapporte

aux angles de polarisation ; mais la partie de mon Mémoire dans laquelle mes arguments étaient développés a servi aux Cosaques logés à l'imprimerie de Peronneau à allumer leurs pipes.

Le Mémoire en question renferme la démonstration mathématique de ce fait, de vérité nécessaire, dans le système de l'émission, mais moins facile à concevoir dans le système des ondes, que les anneaux transmis et réfléchis, quand ils se forment entre deux lentilles de verre commun, ont exactement la même intensité. Cette égalité peut servir de criterium pour juger de l'égale intensité des deux faisceaux de lumière blanche qui éclairent le système des deux lentilles. Ce Mémoire, qui ajoute incontestablement des faits nouveaux et curieux à ceux que Hooke et Newton avaient découverts, n'a pas été cité autant, je crois, qu'il aurait pu l'être. Il est vrai que je dois sans doute regarder comme une citation la reproduction textuelle de mes expériences par des auteurs célèbres (M. Airy, par exemple), qui n'ont pas jugé à propos de faire mention de la publication ancienne du IIIe volume des *Mémoires d'Arcueil*.

Depuis l'impression de mon Mémoire, en 1817, je n'ai presque rien ajouté d'essentiel à mes premiers résultats. Seulement, Thomas Young ayant montré que lorsque le liquide contenu entre deux lentilles de verre a une réfringence intermédiaire entre celle des deux lentilles, la tache centrale newtonienne devient blanche ; j'ai prouvé, en me servant de l'huile de cassia, que cette tache centrale redevient noire lorsque le milieu interposé a une réfringence supérieure à celle des deux lentilles.

§ 10. — La lumière des halos est polarisée par réfraction.

Dans la séance du 11 avril 1825, j'ai annoncé à l'Académie des sciences, et cette Note est consignée dans le tome XXIX des *Annales de chimie et de physique*, qu'en examinant avec un instrument de mon invention, un halo qui entourait le Soleil vers les onze heures du matin, j'avais reconnu, dans la lumière dont ce halo était formé, des traces non équivoques de polarisation par réfraction. Cette expérience exclut toute explication du phénomène qui serait fondée sur l'hypothèse d'une réflexion.

J'ai ajouté que j'espérais pouvoir reconnaître, par les mêmes moyens d'observation, quand un nuage est gelé.

Pour faire cette observation je me suis servi de mon polariscope ordinaire décrit dans l'*Astronomie populaire* (t. II, p. 99 à 101).

§ 11. — Instrument propre à faire voir les écueils.

Après tous les détails contenus dans cette Notice, le lecteur n'aura aucune difficulté à comprendre comment agit l'instrument que j'ai présenté au Bureau des longitudes le 2 décembre 1835 et qui est composé d'un tube et d'une tourmaline. Cette dernière élimine la lumière réfléchie à la surface de l'eau et permet de voir conséquemment les objets situés au fond. J'ai indiqué ailleurs l'emploi qu'on peut faire de cet instrument (*Instructions, Rapports et Notices sur les questions à résoudre pendant les voyages scientifiques*, t. IX des *Œuvres*, p. 79 et 552).

§ 12. — Emploi du polarimètre pour l'étude de l'optique atmosphérique dans les ascensions aérostatiques.

Les ascensions aérostatiques peuvent servir à résoudre les plus importants problèmes d'optique atmosphérique. Jusqu'ici, dans les ascensions faites ou projetées, on n'avait guère songé qu'aux variations thermométriques, hygrométriques, électriques, magnétiques, eudiométriques; avec des ballons captifs on aura le moyen d'étudier, en outre, les lois de la distribution de la lumière dans l'atmosphère, soit à l'état neutre, soit à l'état de polarisation.

La proportion de lumière polarisée contenue dans un faisceau quelconque peut se déterminer à l'aide d'un instrument très-simple, très-maniable, très-portatif, que j'ai fait construire et que je nomme un polarimètre; cet instrument est le polariscope que j'ai proposé en 1811, auquel est adapté un appareil particulier. Le polariscope devient polarimètre par la seule addition d'une ou plusieurs lames de verre à faces parallèles placées en avant de l'ancien instrument. Ces lames sont mobiles. Un cercle gradué fait connaître sous quelle inclinaison la lumière les a traversées avant de pénétrer dans le polariscope proprement dit. La proportion de lumière polarisée contenue dans le faisceau étudié se déduit de l'angle auquel il faut arrêter les plaques de verre pour qu'on n'aperçoive plus aucune trace de couleur à travers l'appareil total.

La disposition dont il vient d'être parlé est la plus convenable pour les polarimètres portatifs que les voyageurs devront tenir à la main. L'instrument prendra, si

l'on veut, une autre forme, lorsque destiné à servir dans un observatoire, dans un cabinet de physique, on pourra l'adapter à un pied solide et fixe. Alors la lame ou les lames de verre situées devant le polariscope conserveront une inclinaison constante relativement à la ligne visuelle ; seulement il y aura, en avant de ces lames, une plaque cristalline à faces parallèles, par exemple une plaque de cristal de roche avec sa section principale convenablement placée. En donnant à tout cet appareil un mouvement de rotation autour de l'axe du polariscope, on amènera la disparition des couleurs ; la quantité de ce mouvement de rotation, comme l'inclinaison des lames dans l'instrument portatif, sera liée à la proportion de lumière polarisée contenue dans le faisceau analysé.

Afin de montrer, par exemple, quels problèmes singuliers il sera possible de résoudre à l'aide du polarimètre et de diverses tables photométriques, je ferai remarquer que dans les temps dits nuageux, un observateur muni de l'instrument arrivera, sans se déplacer, à déterminer la longueur de la couche d'air qui le sépare d'un nuage, ou, dans le cas le plus défavorable, à une limite que cette longueur ne saurait atteindre. Les éléments de la détermination sont : 1° le nombre qu'on obtient en divisant l'intensité de la lumière venant de l'atmosphère sereine indéfinie, dans une direction peu éloignée du bord du nuage, par l'intensité de la lumière provenant de ce même nuage et de la portion limitée d'atmosphère comprise entre sa surface inférieure et l'œil de l'observateur ; 2° le nombre indiquant la proportion de rayons polarisés contenus dans la première de ces

deux lumières (dans la lumière atmosphérique indéfinie); 3° le nombre indiquant la proportion de rayons polarisés contenue dans la seconde (dans l'ensemble de la lumière du nuage et de la lumière de la couche d'air qui le sépare de la terre). Ces deux derniers nombres sont donnés par le polarimètre; on déterminera le rapport des intensités à l'aide d'un photomètre. J'ai d'ailleurs reconnu que la lumière qui fait voir les nuages n'est pas sensiblement polarisée; j'ai communiqué ce fait au Bureau des longitudes le 1er août 1838; il a été complétement vérifié en 1850 par M. Barral dans les ascensions aérostatiques qu'il a faites avec M. Bixio [1].

Les procédés que j'indique sont totalement indépendants de mesures de bases et de parallaxes; ils pourront être appliqués à la détermination de la distance des montagnes, alors même que ces montagnes seront couvertes de neige. Néanmoins, avant de les mettre utilement en pratique, il faudra remplir de grandes lacunes dans la photométrie atmosphérique. C'est à cela surtout que serviront les ascensions de ballons captifs noirs et mes nouveaux instruments. Les ballons noirs, dans le plus grand nombre de ces expériences, n'auront pas besoin de porter des observateurs, puisqu'ils seront seulement destinés à faire office d'écrans, lesquels, placés successivement à différentes hauteurs, intercepteraient la vue de portions plus ou moins considérables de l'atmosphère totale. Les aéronautes ne deviendront indispensables que pour vérifier si les observations sur la lumière non polarisée

1. Voir tome IX des *Œuvres*, p. 511 et 516.

transmise par des nuages artificiels sont applicables de tout point aux nuages naturels ; si, dans la lumière d'une atmosphère sereine, la proportion de rayons polarisés est la même quelles que soient les hauteurs, et en tout cas comment cette proportion varie.

§ 13. — Sur les interférences de la lumière considérées comme moyen de résoudre diverses questions très-délicates de physique et comme servant de base à la construction de nouveaux instruments de météorologie [1].

Si deux faisceaux de lumière blanche, sortis d'une source commune, se sont propagés dans un même milieu homogène et ont parcouru des chemins à peu près égaux, ils forment partout où ils se croisent sous de petits angles un système composé de quelques franges obscures et brillantes parfaitement visibles. La frange centrale est la moins irisée de toutes, et ce caractère suffit pour la faire reconnaître. Dans la place qu'elle occupe, les rayons interférents ont parcouru des chemins exactement égaux. Tout est pareil de forme, d'intensité et de coloration de part et d'autre de cette frange centrale.

J'ai reconnu, il y a déjà bien des années, que les conditions de chemins parcourus ne déterminent pas seules la place des franges formées ainsi à l'aide de l'interférence de deux faisceaux de lumière. En plaçant dans l'air une lame de verre excessivement mince sur le trajet d'un des faisceaux, je vis les bandes marcher du côté de la lame. Cette expérience, répétée un grand nombre de fois avec toute sorte de milieux, solides, liquides, gazeux,

1. Note communiquée à l'Académie des sciences le 25 mai 1840.

conduisit à une loi qui lie d'une manière très-simple le déplacement que les franges éprouvent à la puissance réfringente et à l'épaisseur du corps diaphane qui est traversé ainsi par un seul des deux faisceaux.

Dès que j'eus découvert ce moyen, entièrement nouveau, de mesurer la puissance réfractive des corps diaphanes, je songeai à l'appliquer à l'étude de cette puissance dans l'air humide. Il y avait, en effet, un grand intérêt à savoir définitivement si l'hygromètre devait figurer dans le calcul des réfractions astronomiques. C'était une question déjà traitée par deux membres de l'Académie : d'abord par Laplace, à l'aide de la supposition générale que les vapeurs et les liquides dont elles proviennent ont le même pouvoir réfringent, supposition très-plausible dans le système de l'émission, mais que des recherches postérieures n'ont point confirmée; ensuite par M. Biot d'après des expériences tout aussi exactes que la méthode employée pouvait le comporter. Fresnel se joignit à moi pour exécuter l'expérience que j'avais projetée. Voici comment elle fut réalisée :

Deux tubes en verre mince, d'environ un mètre de long, furent soudés l'un à l'autre comme les deux canons d'un fusil à deux coups. A chaque extrémité, ces deux tubes étaient fermés par une seule et même plaque de verre à faces parallèles. Des robinets donnaient passage aux substances dont on voulait étudier les effets. Quand les deux tubes renfermaient de l'air de même densité, de même température et de même degré d'humidité, le faisceau qui traversait le tube de droite produisait, en se mêlant à sa sortie au faisceau provenant du tube de

gauche, des franges irisées dont la place coïncidait presque exactement avec celle des franges qui résultaient de l'action de ces mêmes faisceaux se propageant à l'air libre. Si, la force élastique étant toujours égale dans les deux tubes, l'un renfermait du chlorure de calcium et l'autre de l'eau; si, dès lors, le premier tube était rempli d'air complétement sec, et le second d'air saturé d'humidité, les bandes formées par l'interférence du faisceau qui, dans sa course, traversait un mètre d'air humide, et du faisceau qui traversait un mètre d'air sec, n'occupaient plus la place des franges engendrées à l'air libre; l'interposition des tubes produisait un déplacement notable : un déplacement d'une frange et demie. Ce déplacement se faisait toujours du côté de l'air sec.

Le sens du déplacement des franges prouvait d'abord, d'une manière incontestable, que l'air sec avait plus de puissance réfringente que l'air humide. Restait à assigner la différence.

De la loi dont il a été question plus haut, ou bien d'expériences faites sur l'affaiblissement de pression que l'air devait subir dans l'un des tubes, pour que les franges se déplaçassent d'une frange et demie du côté opposé, on concluait directement la différence des pouvoirs réfractifs des deux airs; mais il était possible qu'une légère couche d'humidité se fût précipitée à la surface intérieure des deux verres, dans les portions correspondant au tube à air humide; or une pareille couche, quelque mince qu'on la supposât, jouerait dans le phénomène un rôle important : elle masquerait la plus grande partie de l'effet cherché. Telle est la difficulté qui détourna Fresnel de

donner aucun chiffre à l'appui de la conclusion que nous tirâmes de notre expérience commune.

Cette difficulté je l'ai depuis complétement levée en répétant l'ancienne expérience à l'aide de deux autres tubes, l'un sec et l'autre humide, fermés à leurs deux extrémités par les deux mêmes verres dont nous nous étions d'abord servis; mais cette fois les tubes, au lieu d'un mètre, n'avaient plus qu'un centimètre de long. L'influence de la différence de puissance réfringente des deux airs se trouvant ainsi à peu près éliminée, il ne devait plus guère rester que l'effet de la couche d'humidité précipitée à la surface intérieure des deux plaques de verre, du côté du tube humide; cet effet fut constamment inappréciable. Le mouvement d'une frange et demie, observé avec les tubes d'un mètre de long, dépendait donc exclusivement des propriétés réfringentes comparatives de l'air sec et de l'air saturé d'humidité. La différence était telle, à + 27° centigrades, que si, pour l'air sec, on prenait comme rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, pour le passage de la lumière du vide dans l'air, le nombre

1.0002945,

ce rapport devenait pour le passage du vide dans l'air humide :

1.0002936.

Chose singulière! une différence sur la sixième décimale des indices de réfraction se trouva ainsi constatée à l'aide d'expériences dans lesquelles aucun rayon ne

s'était réfracté. Ajoutons que l'exactitude de la méthode étant proportionnelle à la longueur des tubes employés, rien n'aurait empêché d'aller beaucoup plus loin.

Cette expérience doit avoir un complément. Il s'agit de savoir si la chaleur exerce sur la réfraction de l'air une influence qui puisse, qui doive être distinguée de sa propriété dilatante. Le doute mérite d'autant plus d'être levé, que le verre chaud réfracte plus que le verre froid.

Il faudra encore, pour ne rien laisser dans le vague sur la question si importante et si délicate des réfractions astronomiques, étudier l'influence de l'électricité en repos et de l'électricité en mouvement. Tout cela est aujourd'hui accessible et peut être promptement éclairci.

Nous allons maintenant indiquer brièvement quelques autres applications dont la méthode est susceptible.

Concevons un seul tube d'une certaine longueur, vide d'air, bouché à ses deux extrémités par des plaques de verre et hermétiquement fermé. En choisissant convenablement ces deux premières plaques de verre et une troisième plaque mobile destinée à être placée à côté du tube, sur la route du faisceau extérieur, on peut faire en sorte que, par un effet de compensation, des franges se forment par l'interférence des rayons propagés à travers le vide et de ceux qui ont traversé l'air extérieur, tout comme si les uns et les autres s'étaient mus dans un milieu homogène. Seulement, si l'atmosphère extérieure change de puissance réfractive, les franges se déplaceront. Leur mouvement se fera vers le tube vide quand le pouvoir réfractif diminuera, et en sens inverse quand le pouvoir réfractif augmentera. Un pareil instrument

pourrait donc, dans les observatoires, être employé au lieu du baromètre et du thermomètre, à la détermination de la force réfractive de l'atmosphère. L'observation s'exécuterait à la hauteur de l'objectif de l'instrument astronomique, et ainsi finiraient d'interminables disputes sur la convenance de faire usage, dans le calcul des réfractions, du thermomètre extérieur ou du thermomètre intérieur.

La réfraction de l'air est fonction de sa pression et de sa température. La pression restant constante, si la température varie d'un seul degré centigrade, les franges, dans un instrument de onze décimètres de long, se déplacent de plus de deux franges entières. Ce mouvement, on le mesure à la précision d'un dixième de frange. L'instrument dont il vient d'être question, combiné avec le baromètre, peut donc servir à déterminer la température de l'air à 1/20e de degré près.

Cette extrême sensibilité pourrait être accrue indéfiniment en augmentant la longueur du tube vide, et cependant c'est là un des moindres avantages de la méthode. Un thermomètre étant influencé par le rayonnement du ciel, par le rayonnement du sol, par le rayonnement de tous les autres objets qui l'entourent, ne donne jamais la température de l'air. Au contraire, le résultat déduit d'une propriété de l'atmosphère fonction de sa température est complétement à l'abri de toutes ces causes d'erreurs.

Dans les voyages, si l'on voulait se contenter des températures atmosphériques, telles qu'on les détermine aujourd'hui avec le thermomètre, le tube vide pourrait

servir de baromètre. Une longueur de tube d'un mètre permettrait d'apprécier des variations de pression de un à deux dixièmes de millimètre. Un baromètre sans liquide semblerait assurément une chose assez curieuse ; mais les voyageurs remarqueraient surtout son peu de fragilité.

Ma méthode pour déterminer les réfractions pourra servir à saisir l'état des atmosphères à toutes les distances des corps échauffés ou non échauffés ; à poursuivre les intéressantes expériences de M. Faraday sur les atmosphères limitées de mercure et sur leur diminution de densité à mesure qu'on s'éloigne de ce liquide ; peut-être même à rendre sensible avec des tubes suffisamment longs, l'influence des odeurs.

L'instantanéité de l'observation permet encore de concevoir l'espérance qu'en orientant le tube vide d'une manière convenable par rapport à un fort centre d'ébranlement, on rendra sensibles à l'œil plusieurs propriétés des ondes sonores.

Quant aux liquides, il résulte d'expériences déjà faites que par l'observation des franges on peut saisir, même près du maximum de densité, les changements de réfraction de l'eau correspondant à 1/40e de degré centigrade. Qui ne voit là un moyen nouveau et d'une précision extrême d'étudier la propagation de la chaleur dans cette nature de corps, sans qu'il faille désormais briser leur continuité en introduisant dans la masse la boule et la tige d'un thermomètre? La même remarque s'applique à l'étude de la propagation de la chaleur à travers les corps solides diaphanes.

Il n'est pas, enfin, jusqu'aux augmentations du pouvoir réfractif de l'eau et du verre, résultant de la compressibilité de ces substances, qui ne puissent être aperçues à l'aide des nouveaux instruments. Avec un tube d'un mètre de long, la compressibilité de l'eau sera visible pour chaque deux-centième d'atmosphère. Sur un tube de verre de même longueur, 1/10ᵉ d'atmosphère deviendra sensible.

Le baromètre, thermomètre ou réfracteur optique, a déjà toute la commodité désirable quand il doit être employé dans une chambre obscure. Comme instrument usuel et de voyage, il recevra encore, sans doute, diverses améliorations. Au verre compensateur, mobile autour du centre d'un cercle gradué, dont je faisais usage dès mes premières expériences d'interférences, on substituera peut-être avec avantage une sorte de verre à faces parallèles et à épaisseur variable, imaginé par M. Babinet. Ce verre se composera de deux prismes de même angle placés en sens contraires; les rayons lumineux le traverseront toujours perpendiculairement et son épaisseur totale ira graduellement en diminuant, à mesure que, par un mouvement rectiligne, les deux prismes ajustés d'abord de manière que l'angle de l'un répondît à la base de l'autre, se rapprocheront de la position où les angles eux-mêmes se correspondraient. Il reste aussi à trouver une méthode simple dont les artistes constructeurs puissent faire usage sans de trop longs tâtonnements pour amener à des conditions d'interférences utiles, des rayons lumineux qui, avant d'atteindre la loupe au foyer de laquelle les franges se forment, étaient séparés les uns des

autres de plusieurs centimètres. Quant au moyen d'opérer sur les liquides, les tubes destinés à les contenir, doivent d'après leur construction conserver les mêmes longueurs à toutes les températures. Ajoutons, enfin, que la possibilité de substituer la lumière diffuse atmosphérique à la lumière solaire ou à des lumières artificielles, pour la production des franges, était déjà constatée par les nombreux appareils de diffraction qu'un habile constructeur, M. Soleil, fournit depuis longtemps aux cabinets de physique.

Je me suis abstenu de rattacher par aucun point la théorie des nouveaux instruments au système des ondes; mais je dois dire que les expériences d'interférences faites avec mes appareils, sont en contradiction manifeste avec la théorie de l'émission et la renversent de fond en comble.

§ 14. — Sur l'action que les rayons de lumière polarisés exercent les uns sur les autres.

En 1819, Fresnel et moi, nous avons publié dans les *Annales de chimie et de physique* un Mémoire sur cette question très-importante. Il résulte des expériences rapportées dans ce Mémoire, qui a été déjà cité précédemment (p. 380), les conséquences suivantes :

1° Les rayons de lumière polarisés dans un seul sens agissent l'un sur l'autre comme les rayons naturels : en sorte que, dans ces deux espèces de lumières, les phénomènes d'interférence sont absolument les mêmes;

2° Dans les mêmes circonstances où deux rayons de lumière ordinaire paraissent mutuellement se détruire,

deux rayons polarisés en sens contraires n'exercent l'un sur l'autre aucune action appréciable ;

3° Deux rayons primitivement polarisés en sens contraires peuvent ensuite être ramenés à un même plan de polarisation, sans néanmoins acquérir par là la faculté de s'influencer ;

4° Deux rayons polarisés en sens contraires, et ramenés ensuite à des polarisations analogues, s'influencent comme les rayons naturels s'ils proviennent d'un faisceau primitivement polarisé dans un seul sens ;

5° Dans les phénomènes d'interférence produits par des rayons qui ont éprouvé la double réfraction, la place des franges n'est pas déterminée uniquement par la différence des chemins et par celle des vitesses, et dans quelques circonstances, il faut tenir compte, de plus, d'une différence égale à une demi-ondulation.

On voit donc par cette suite de conséquences que, pour savoir si deux rayons lumineux polarisés dans le même sens sont susceptibles d'interférer, il ne suffit pas de considérer leur état actuel, mais il faut connaître par quelle série de transformations et dans quel ordre ils sont arrivés à cet état.

Les propriétés de la lumière mentionnées ici sont indispensables pour expliquer les couleurs qui se développent dans les lames cristallines douées de la double réfraction. Elles conduisent aussi directement à la solution de cette question : comment les ondulations de la lumière s'effectuent-elles? Est-ce dans le sens de la ligne suivant laquelle les rayons se propagent, ou perpendiculairement à cette ligne? Ce dernier mode de propagation semble

résulter de nos expériences; cependant il me paraissait si difficile à admettre que je pris le parti de laisser à mon collaborateur seul la hardiesse de cette déduction.

En lisant le Mémoire, on remarquera que nous avons fait avec le plus grand soin, Fresnel et moi, la part de chacun de nous dans ce travail commun.

APPENDICE

I

QUELQUES RÉSULTATS RELATIFS A LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE [1]

§ 1. — Polarisation colorée produite par divers oxydes métalliques.

Les rayons de différentes couleurs semblent se polariser sous le même angle lorsqu'ils sont réfléchis par des miroirs de verre et par la plupart des corps peu réfringents; mais sur les oxydes métalliques on aperçoit des traces non équivoques d'une polarisation colorée. C'est ainsi, par exemple, que sous l'angle de la polarisation sur du fer spéculaire, c'est-à-dire sous une inclinaison de 20 degrés environ, la plus faible des images qu'on aperçoit avec un rhomboïde convenablement disposé est verte (légèrement bleuâtre) et que, passé ce point, et sous des angles plus aigus, cette même image se colore presque subitement en rouge. Cette expérience pourrait laisser quelques doutes à cause de la teinte bleuâtre du fer lui-même; mais, pour montrer que la couleur de la faible image n'est pas liée à celle du corps sur lequel la lumière s'est réfléchie, je citerai le chromate de plomb qui, quoique rouge,

1. Ces Notes ont été communiquées à l'Académie des sciences le 22 novembre 1813; chaque feuillet du manuscrit a été visé à cette date par Delambre.

présente le même phénomène que le fer spéculaire; il est vrai que ces deux substances sont lamelleuses; mais le foie d'antimoine fondu (le crocus des pharmaciens), l'oxyde de fer rouge également fondu (hématite ou peroxyde de fer) donnent aussi sous l'incidence de la polarisation une image verte, quoique l'intérieur de ces corps ne présente pas de lames.

§ 2. — Polarisation par la porcelaine.

Sous des angles aigus, la lumière qui rend un morceau de porcelaine visible présente des traces non équivoques d'une polarisation par réfraction. (Même résultat avec du marbre blanc, plusieurs émaux, etc., etc.)

§ 3. — Polarisation de l'atmosphère.

Lorsque le Soleil se couche, la lumière que nous réfléchit l'atmosphère, dans le point de l'horizon diamétralement opposé, contient un bon nombre de rayons polarisés par réfraction : à une certaine hauteur, dans le même azimut, les rayons jouissent des mêmes propriétés que la lumière ordinaire; passé ce point et en se rapprochant du Soleil, la lumière est polarisée par réflexion.

§ 4. — Dépolarisation de la lumière.

Lorsqu'on dépolarise la lumière en la faisant passer au travers d'un miroir convenablement placé, il semblerait, par la théorie, que le rayon transmis devrait contenir un nombre de rayons dépolarisés d'autant plus considérable

que l'angle d'incidence serait plus rapproché de 35° 1/2; mais l'expérience paraît indiquer que la deuxième image à laquelle l'interposition du miroir donne naissance est d'autant plus vive que le miroir est traversé par le faisceau polarisé sous un angle plus aigu.

Il existe des lames de mica qui ne dépolarisent la lumière, ni sous l'incidence perpendiculaire, quelle que soit leur position dans leur propre plan, ni dans les incidences obliques pour lesquelles leur plan est perpendiculaire à celui dans lequel les rayons se sont polarisés; mais la lame placée dans ces situations où un miroir de verre ordinaire dépolariserait les rayons blancs donnera naissance à deux images colorées.

§ 5. — Polarisation des images diffractées.

Des lignes fines très-rapprochées et tracées, soit sur un miroir de verre, soit sur un miroir métallique, fournissent le moyen peut-être le plus puissant de décomposer la lumière; c'est ainsi, par exemple, que la première des images prismatiques diffractées qu'on aperçoit à droite ou à gauche de l'image principale indécomposée d'une chandelle est plus dispersée que si elle avait traversé un prisme de flint-glass de 60°, lorsque les traits entre lesquels le faisceau a passé sont à un six-centième de ligne (1/300e de millimètre) l'un de l'autre.

La dispersion des images diffractées semble être absolument la même, soit que les lignes soient tracées sur le verre ou sur un miroir métallique. (Les traits dont je me suis servi dans ces expériences avaient été faits par Richer

sur un miroir de crown-glass et sur un miroir métallique.) (Il est clair que dans ce résultat comparatif, il s'agit de traits également espacés.)

Les images diffractées par réflexion sont polarisées sous l'incidence convenable lors même que les divisions ont été tracées sur un cristal doué de la double réfraction, comme le carbonate de chaux ou le cristal de roche.

§ 6. — Sur les couleurs des divers corps.

J'ai parlé plus haut des couleurs qu'on aperçoit par la polarisation lorsque la lumière est réfléchie sur un oxyde métallique; sur un bouton bronzé (acier recuit) la succession des teintes est plus étendue et les couleurs sont plus vives. Il se pourrait, d'ailleurs, que ces phénomènes fussent essentiellement différents; que le dernier, par exemple, tînt seulement à la légère couche d'oxyde dont le bouton est recouvert.

II

REMARQUES SUR L'INFLUENCE MUTUELLE DE DEUX FAISCEAUX LUMINEUX QUI SE CROISENT SOUS UN TRÈS-PETIT ANGLE [1]

L'idée que deux faisceaux lumineux peuvent s'influencer en se pénétrant s'est présentée de bonne heure à l'esprit des physiciens; car on en trouve déjà des traces dans l'ouvrage de Grimaldi. La Micrographie de Hooke, qui remonte à la même époque (1665), renferme une explication détaillée du phénomène des anneaux colorés,

1. Note insérée en 1816 dans le tome Ier des *Annales de chimie et de physique*.

entièrement basée sur cette supposition ; et ce qui semble digne de remarque, c'est qu'elle entraînait comme conséquence nécessaire que les épaisseurs diverses d'un certain corps doivent réfléchir une même teinte, lorsqu'elles se succèdent comme la série des nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc. ; vérité que Newton a démontrée par expérience longtemps après. Cette recherche a depuis excité peu d'intérêt, ce qui a tenu, d'une part, à ce que, dans le système généralement admis de l'émission, elle était pour ainsi dire sans objet, et de l'autre, à ce que les circonstances dans lesquelles l'influence réciproque de deux faisceaux qui se pénètrent produit des effets sensibles et observables sont rares et difficiles à réunir. On doit au docteur Thomas Young d'avoir ramené l'attention des physiciens vers cette nouvelle branche de l'optique, comme aussi d'avoir démontré le premier, par l'expérience des bandes intérieures diffractées que j'ai rapportée précédemment [1], que deux rayons homogènes de même origine et qui parviennent en un point par deux routes différentes et un peu inégales, peuvent s'entre-détruire, ou du moins s'affaiblir beaucoup. Une autre expérience du même savant (Voyez l'explication des planches de son *Treatise of natural philosophy*, tome 1er, page 787) prouve d'autant plus clairement cette influence réciproque de deux rayons qui se croisent, que, pour produire des franges absolument semblables à celles qui se forment dans l'intérieur de l'ombre d'un corps opaque, il suffit d'introduire la lumière solaire dans une chambre obscure,

1. Voir l'Appendice de la Notice sur la scintillation, p. 99 de ce volume.

par deux trous peu éloignés, et sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir les forces auxquelles les physiciens ont coutume d'attribuer les effets de la diffraction. M. Fresnel est aussi parvenu de son côté à produire des bandes du même genre par le croisement de deux faisceaux provenant d'un même point radieux et réfléchis par deux miroirs légèrement inclinés l'un sur l'autre : ces bandes, comme il l'a remarqué, sont toujours perpendiculaires à la ligne qui joint les deux images du point et n'ont aucune liaison avec la situation des bords des miroirs ; leur largeur est, dans tous les cas, en raison inverse de l'intervalle qui sépare les foyers virtuels d'où les deux faisceaux paraissent diverger. J'ajouterai que j'ai reconnu ici, comme dans le phénomène ordinaire de la diffraction, qu'il suffit, pour anéantir complétement la totalité des bandes, de faire passer un seul des deux faisceaux qui concourent à leur production, soit avant, soit après sa réflexion sur l'un des miroirs, au travers d'un verre d'une certaine épaisseur.

Les expériences que nous avons faites en commun, M. Fresnel et moi, sur le déplacement que les bandes diffractées intérieures éprouvent par l'interposition de lames plus ou moins épaisses de différentes matières, nous ont montré que ce déplacement peut servir à mesurer de très-petites différences de réfraction ; la méthode a déjà été éprouvée pour l'eau et l'esprit-de-vin, l'eau et l'éther, etc. ; un appareil très-simple servira à mesurer les différences de réfraction d'un même liquide à deux températures données ; nous avons reconnu, par exemple, que la différence entre les réfractions de l'eau à 4° et de

l'eau à zéro pourrait être déterminée, à moins d'un centième près, à l'aide de deux cases égales et longues de 2 décimètres; mais c'est surtout pour la réfraction des gaz que ce nouveau moyen d'observation sera précieux; car en donnant aux tuyaux qui les renfermeront une longueur suffisante, on poussera l'exactitude des mesures aussi loin qu'on voudra.

III

SUR LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE ATMOSPHÉRIQUE ET DE LA LUMIÈRE DE LA LUNE

Plusieurs faits relatifs à la polarisation, que j'ai communiqués à diverses époques à l'Académie des sciences, ayant été niés par MM. Chevalier et Airy, de la Société philosophique de Cambridge, j'ai cru de mon devoir de revenir, en 1834, sur ces faits et de répéter devant l'Académie qu'ils sont parfaitement exacts :

1° La lumière bleue du ciel, qui est due à la réflexion rayonnante moléculaire et non à la réflexion spéculaire ou par couches, est polarisée partiellement, et le maximum de polarisation a lieu vers 90° du Soleil; c'est un fait qui n'est pas contesté.

2° La lumière qui a traversé un nuage n'est pas polarisée quand l'observateur se trouve dans le nuage; mais quand il est hors du nuage et qu'ainsi la lumière a traversé entre le nuage et lui une certaine couche d'air serein, elle est sensiblement polarisée; non-seulement on peut constater facilement le fait de la polarisation, mais on peut encore trouver la proportion de lumière

polarisée qu'elle contient. Une expérience directe prouve qu'une épaisseur d'air atmosphérique d'une cinquantaine de mètres suffit pour produire une polarisation sensible.

3° La lumière de la Lune contient une assez grande proportion de lumière polarisée; on s'en assure facilement en faisant l'observation dans le premier quartier on voit alors qu'une partie notable de la lumière que nous recevons par ce satellite nous vient par réflexion spéculaire.

4° Quand on observe la polarisation de la lumière atmosphérique dans le plan vertical qui contient le Soleil, on trouve que la polarisation croît jusque vers 90°; si l'on va plus loin, la polarisation diminue graduellement, disparaît ensuite tout à fait et enfin change de signe. Ce fait est parfaitement exact, de telle sorte qu'un observateur tournant le dos au Soleil et cherchant le point de nulle polarisation, pourrait assez bien indiquer l'azimut et la hauteur du Soleil. Si les physiciens anglais n'ont pu apercevoir le renversement du sens de polarisation, il ne faut pas en être surpris : ils l'ont cherché dans le voisinage du Soleil tandis qu'il faut le chercher à l'opposite. Toutefois, le lieu de nulle polarisation ne dépend pas seulement du lieu du Soleil, mais encore de l'état du ciel, et la présence de quelques nuages suffit pour le déplacer notablement. Le renversement de la polarisation paraît dépendre de réflexions multiples de la lumière par l'air, mais le calcul est nécessaire pour pousser l'explication plus loin.

IV

CONSTRUCTION D'UN COLORIGRADE — CYANOMÉTRIE [1]

L'instrument auquel M. Biot a donné le nom de *colorigrade* « réalise et fixe, suivant lui, d'une manière invariablement constante et comparable, toutes les nuances de couleurs que les corps naturels peuvent présenter.

« Pour concevoir le principe de cet instrument, ajoute-t-il, il faut se rappeler que, d'après les principes de Newton, toutes les couleurs réfléchies par les corps naturels sont et doivent être nécessairement une de celles que présente la série des anneaux colorés formés par réflexion dans les lames minces des corps : cette identité n'est pas fondée, comme on l'a cru longtemps, sur une assimilation hypothétique, mais sur une analyse fidèle et rigoureuse des propriétés physiques de la lumière et des conditions qui déterminent sa transmission et sa réflexion. Aussi l'expérience confirme-t-elle avec la plus minutieuse précision, toutes les conséquences qui découlent de cette analogie relativement aux modifications que les couleurs des corps doivent subir, soit par la plus ou moins grande obliquité des rayons incidents sur leur surface, soit par le changement lent et graduel des dimensions ou de la composition chimique des molécules qui les composent, etc. »

Si l'on fait passer un faisceau blanc polarisé au travers

1. Note insérée en 1817 dans le tome IV des *Annales de chimie et de physique*.

d'une lame cristallisée, et qu'on l'analyse ensuite avec un prisme doué de la double réfraction, on remarquera que la teinte qui a perdu sa polarisation primitive en traversant la plaque est celle d'un des anneaux réfléchis, et que l'autre est celle de l'anneau transmis correspondant. Certaines plaques peuvent, d'ailleurs, par une inclinaison graduellement variable, produire toute la série des anneaux : ceci posé, on peut comprendre tout le mécanisme du colorigrade.

Cet instrument « est composé d'abord d'un verre noir placé au-devant du tuyau d'une lunette, et qui, par le moyen d'une vis, s'incline de manière que les rayons réfléchis par sa surface soient polarisés dans le tuyau. On s'aperçoit que cette condition est remplie lorsqu'en analysant le faisceau réfléchi à l'aide d'un prisme de spath d'Islande achromatisé qui tient lieu d'oculaire, on trouve quatre positions du prisme où le rayon ne se divise plus, mais se réfracte tout entier en un seul sens. Cela fait, pour produire les couleurs, il y a entre le verre noir et le prisme une plaque cristallisée taillée perpendiculairement à l'axe, et qu'un mouvement rotatoire permet d'incliner sous divers angles, mais toujours dans un plan d'incidence qui forme un angle de 45° avec le plan de réflexion sur le verre noir. Alors les couleurs des anneaux paraissent et varient à mesure que la plaque s'incline. »

Pour avoir des variations lentes des teintes, il faut employer des plaques peu épaisses et prises dans des cristaux dont les forces polarisantes soient faibles. Le cristal de roche est très-convenable pour cet objet; mais il est indispensable que ces plaques soient partout d'une égale

épaisseur; car, sans cela, au lieu d'un disque de couleur homogène, on apercevrait dans le champ de la vision une variation de nuances voisines qui nuiraient à la netteté des déterminations. Comme la condition du parallélisme est difficile à remplir, M. Biot a imaginé de substituer aux plaques de cristal de roche deux lames de mica superposées qui produisent les mêmes effets; on choisit pour cela une feuille de mica bien diaphane et uniformément épaisse; ce qui se découvre par l'uniformité des teintes dans lesquelles elle sépare les rayons polarisés qui la traversent dans ses divers points : on en découpe une portion sous la forme d'un rectangle « dont le long côté soit double du petit; puis on divise le rectangle en deux carrés égaux que l'on superpose l'un sur l'autre, en ayant soin que les limites de leur commune section soient tournées à angle droit. » Un peu d'huile de térébenthine épaissie les fixe d'une manière invariable et prévient la perte de lumière qui s'opérerait entre elles par la réflexion. « Sous l'incidence perpendiculaire, et même jusqu'à une obliquité de quelques degrés, ce système n'enlève aucune des molécules à leur polarisation première. En s'inclinant davantage, il commence enfin à donner un faisceau extraordinaire d'un bleu léger et blanchâtre, tel qu'est celui du premier ordre des anneaux; ce bleu, blanchissant de plus en plus, de manière que le système tourne, passe au blanc du premier ordre, de là, au jaune pâle, à l'orangé, au rouge sombre, et ainsi de suite, en parcourant toute la série des teintes désignées dans la table de Newton. »

M. Biot pense qu'avec cet appareil on pourra définir

rigoureusement les couleurs des corps « en énonçant la teinte de Newton à laquelle elles se rapportent, et caractérisant la nuance de cette teinte par celle de l'anneau transmis qui sera simultanément donné. Enfin, si l'on aspirait à une précision encore plus rigoureuse, il n'y aurait qu'à énoncer l'incidence précise où paraît la teinte dont il s'agit, en ayant soin d'indiquer aussi celles où se montrent le plus nettement quelques teintes distinctes de la table de Newton; car, au moyen de ces données, on pourrait calculer exactement l'incidence qui reproduirait la même teinte précise dans tout autre appareil; ce qui rend ce mode d'observation comparable en toute rigueur. Enfin, ajoute M. Biot, à l'aide d'une modification extrêmement simple, le colorigrade peut se transformer en un cyanomètre très-sensible et pareillement comparable dans ses indications. Pour cela, on tourne le bouton qui porte le système des lames de mica jusqu'à ce qu'elles cessent de s'interposer dans le rayon polarisé; ensuite on interpose à leur place une plaque de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe et épaisse d'environ 3 millimètres. » A ce degré d'épaisseur, l'effet des forces polarisantes donne naissance à un rayon extraordinaire blanc, lorsque le faisceau réfléchi par le miroir a traversé « le prisme cristallisé au moyen duquel on l'analyse. En tournant ce prisme de droite à gauche ou de gauche à droite, selon la nature de la force, dans la plaque dont on fait usage, l'image blanche perd graduellement ses rayons les moins réfrangibles, et passe ainsi du blanc bleuâtre à diverses nuances de bleu, d'indigo et presque de violet. Une division circulaire adaptée autour du tuyau du colorigrade

sert à mesurer le nombre de degrés qu'il faut parcourir pour arriver à ce dernier terme, et tous les degrés intermédiaires servent à fixer autant de nuances de bleu plus ou moins sombre, lesquelles se reproduiraient précisément dans un autre appareil au même degré de rotation si l'arc total parcouru jusqu'au violet était le même, ou à des nombres de degrés proportionnels si l'arc total était différent. Pour donner une idée de la sensibilité dont ce mode d'indication est susceptible, il me suffira de dire qu'avec la plaque adaptée en ce moment au colorigrade qui est sous les yeux de l'Académie, l'amplitude totale d'arc occupée par les diverses nuances de l'eau s'étend depuis 0° jusqu'à 75°. »

Qu'il me soit permis de joindre à l'extrait qu'on vient de lire du Mémoire de M. Biot quelques remarques qui me feraient douter, si elles restaient sans réponse, de la grande généralité que cet habile physicien paraît accorder à son nouvel instrument. J'admettrai d'abord, comme un fait d'expérience, que l'action convenablement dirigée des lames cristallisées peut servir à produire toute la série des nuances qui se manifestent, tant par réflexion que par réfraction, sur des lames d'air ou de tout autre corps extrêmement minces ; je supposerai encore que l'assimilation, à mon avis un peu hypothétique, que Newton a établie entre les couleurs des lames et celles des corps naturels, soit fondée en général ; et néanmoins j'aurai quelque difficulté à voir dans le colorigrade un moyen de réaliser toutes les nuances de couleurs que ces corps peuvent présenter.

En effet, aucun rayon ne se perd quand un faisceau

de lumière blanche tombe sur une lame mince et y forme des anneaux : la couleur transmise, ajoutée à la couleur réfléchie, produit toujours du blanc. Dans les corps imparfaitement diaphanes, ces deux espèces de teintes sont rarement complémentaires sous le rapport de la nuance, peut-être ne le sont-elles jamais sous celui de l'intensité. De là résulte, et tous les physiciens l'ont bien senti, la nécessité d'admettre qu'une portion plus ou moins considérable de la lumière incidente est amortie, éteinte, absorbée dans son passage au travers des corps. Quoique les lois de cette absorption nous soient inconnues, on n'ignore pas qu'elles diffèrent essentiellement de celles qui règlent la décomposition des faisceaux blancs à la seconde surface des pellicules minces. Sans l'absorption, les teintes transmises par tous les milieux colorés rentreraient dans la classe de celles que le colorigrade peut réaliser. Après l'absorption, à laquelle les nuances de l'instrument ne participent pas, il n'y a plus parité entre les deux phénomènes. Je ne crois pas, par exemple, que dans toute la série de bleus que fera naître le mouvement des lames de mica, il y en ait un qui puisse être assimilé à ce bleu transmis par certains verres colorés, et qui, décomposé par le prisme, donne, suivant la remarque curieuse du Dr Thomas Young, un spectre formé de sept portions distinctes, et séparées par des intervalles obscurs, savoir : deux rouges, une jaune verdâtre, une quatrième verte, une cinquième bleue, une sixième bleu violacé, et une septième et dernière violette [1]. Ces teintes, lorsque

1. Les physiciens se sont accordés à ranger l'observation de la dispersion que la lumière éprouve en traversant des milieux d'une

le verre augmente d'épaisseur, ne s'affaiblissent pas proportionnellement; le second rouge, par exemple, a déjà complétement disparu, que le premier est encore très-brillant; la couleur transmise à travers une certaine épaisseur du verre pourrait donc trouver son analogue dans celles des anneaux sans que celle qui correspondrait à une autre épaisseur fût dans ce cas. Ces remarques, que je soumets à la sagacité de M. Biot, ne prouvent-elles pas déjà que le nouveau colorigrade n'est point susceptible de représenter les couleurs transmises?

Mais, si je ne me trompe, les mêmes difficultés s'appliquent aux teintes réfléchies. Les rayons qui forment la couleur propre des corps émanent de leur intérieur : ce qui paraît surtout le prouver, c'est qu'ils sont polarisés sous toutes les inclinaisons, comme de la lumière transmise, ainsi que je l'ai reconnu même pour la couleur des métaux. Si le corps est opaque, il ne se laissera pénétrer qu'à une petite profondeur; mais ce court trajet pourra être accompagné d'une absorption très-sensible. Une extinction du même genre aura lieu relativement

réfringence considérable au nombre des plus difficiles de l'optique. Les deux extrémités d'un spectre prismatique, et surtout l'extrémité violette, sont mal terminées; les nuances intermédiaires se fondent, pour ainsi dire, l'une dans l'autre; en sorte qu'il est impossible, par exemple, de marquer avec quelque exactitude la ligne de séparation du jaune et du vert. Le verre bleu dont il est question dans le texte peut être alors d'un très-grand secours, comme je m'en suis assuré. En le plaçant devant l'oculaire de la lunette, le prisme étant sur l'objectif, on aperçoit un spectre interrompu; on dirige le fil du micromètre au milieu des intervalles noirs, ce qui détermine la réfraction des rayons que le verre absorbe : les mesures deviennent ainsi exactes et comparables, quelle que soit la nature du prisme, si l'on se sert toujours du même verre.

aux rayons qui, ayant traversé une plus grande épaisseur d'un corps à demi diaphane, reviennent à l'œil après s'être réfléchis dans son intérieur. Avant l'absorption, les teintes vues par réflexion auraient trouvé leurs analogues dans celles des anneaux ou du colorigrade. En sera-t-il de même lorsqu'elles auront été modifiées par la soustraction de quelques-uns des rayons qui les composaient? Autant il me paraît certain que le nouvel instrument de M. Biot donne les moyens d'obtenir à volonté, dans tous les temps et dans tous les climats, les mêmes espèces de teintes, ce qui est une propriété très-curieuse, autant il me paraît douteux qu'on puisse réaliser par là toutes celles que les corps naturels peuvent présenter.

Le nouveau cyanomètre de M. Biot semble devoir aussi donner lieu à quelques difficultés. Les diverses parties dont cet instrument est composé fournissent les moyens de passer graduellement du blanc bleuâtre à diverses nuances de bleu, d'indigo et presque de violet. Mais est-ce bien ainsi que varie la teinte de l'atmosphère? Les nuances qu'elle présente à différentes élévations, depuis l'horizon jusqu'au zénith, dans les plaines ou sur les montagnes, près du pôle ou à l'équateur, en hiver ou en été, etc., ne sont-elles pas des mélanges d'une teinte unique avec des quantités plus ou moins considérables de lumière blanche? C'est du moins d'après cette idée que Saussure avait construit son cyanomètre, et qu'il avait gradué le ton de diverses bandes bleues dont cet instrument se compose, et qui passent, comme on sait, par des dégradations plus ou moins rapides du noir au blanc.

Le bleu propre à l'atmosphère se trouve, à ce qu'il

m'a paru, dans la série des teintes qu'on obtient lorsqu'on décompose un faisceau blanc polarisé auquel on a fait préalablement traverser une lame de cristal de roche perpendiculaire à l'axe et épaisse de 5 millimètres, avec un cristal doué de la double réfraction. Ce bleu, sans changer de nuance, se blanchit, pour ainsi dire, graduellement à mesure que le faisceau analysé contient des quantités plus considérables de lumière non polarisée. Si les rayons qui viennent traverser la plaque de cristal ont été d'abord réfléchis par un verre sous l'inclinaison de 35° ou environ, on observera un bleu très-intense que n'égale ou que ne surpasse peut-être jamais le bleu de l'atmosphère. Si la réflexion s'est opérée perpendiculairement, le champ de la vision sera tout à fait blanc. Entre ces deux limites se manifesteront des bleus plus ou moins affadis, et dans lesquels l'observateur pourra déterminer celui qui correspond à un état de l'air donné. Pour être sûr de retrouver, dans tous les temps, la même teinte, il suffira de remarquer quelle a été l'inclinaison du miroir réfléchissant : on aura ainsi une échelle de 55° pour toutes les nuances que l'atmosphère peut présenter.

Tels sont les principes sur lesquels j'avais construit, il y a deux ans, le cyanomètre dont M. Biot a bien voulu insérer l'annonce dans le *Bulletin de la Société philomathique* pour janvier 1817. Un tube de cuivre d'un centimètre de rayon et d'un décimètre de longueur, terminé, d'un côté, par une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe et épaisse de 5 millimètres, de l'autre, par un prisme achromatisé et doué de la double réfraction; une pièce semblable aux réflecteurs qu'on place

devant les objectifs des lunettes pour éclairer la nuit le fil du micromètre, et destinée à supporter une lame de verre noircie sur sa seconde face, composent tout l'instrument. J'ai dit plus haut comment on fait les observations; mais, pour obtenir ainsi des indications comparables, ne faudrait-il pas que le faisceau que le verre réfléchissant renvoie dans le tube fût toujours blanc? Est-il permis de supposer, d'une part, que la lumière atmosphérique est sans couleur, lorsque, d'une autre, c'est l'intensité de sa nuance qu'on veut déterminer? D'où vient qu'il faut avoir recours à un appareil de polarisation pour colorer en bleu le faisceau réfléchi, puisqu'il est parti d'un point du ciel qui a déjà cette même teinte? On peut, il est vrai, n'éclairer la lame de verre réfléchissante, et par conséquent le champ de la vision, qu'avec la lumière qu'émet une feuille de beau papier; mais cet artifice a le double inconvénient de compliquer un peu l'instrument et d'affaiblir la vivacité des teintes dépolarisées. Je me félicite, au reste, d'avoir à faire remarquer que ces difficultés, si toutefois elles méritent ce nom, s'appliquent aussi à l'appareil de M. Biot, puisque c'est une raison d'espérer qu'elles seront bientôt éclaircies, et qu'alors tout nous autorisera à compter sur les résultats que peut fournir le nouveau cyanomètre.

SUR

L'IMPULSION DES RAYONS SOLAIRES

Dans une des explications que Kepler a données de la queue des comètes, il suppose que cette apparence est due à une matière que les rayons du Soleil détachent, par leur impulsion, du corps de l'astre ; mais il ne paraît pas que ce grand astronome ait jamais cherché à rendre cette impulsion sensible par des expériences directes. A défaut de telles expériences, Hartsœcker rapporte, dans ses *Principes de physique*, quelques phénomènes naturels qui lui semblent des preuves manifestes de la réalité de cette impulsion : ainsi, suivant lui, le Danube est moins rapide le matin lorsque le courant est opposé au Soleil, que le soir quand il se meut dans la direction des rayons de cet astre. La même cause, dit-il, servirait à expliquer un courant qu'on observe le long des côtes, dans le golfe de Lyon ; le refoulement de la fumée des cheminées dans l'intérieur des appartements, etc., etc. D'après ce petit échantillon, nos lecteurs nous dispenseront sûrement de rapporter les autres preuves par lesquelles Hartsœcker cherche à étayer son système.

Homberg, à qui l'Académie des sciences eut le tort de confier plusieurs fois la vérification d'expériences délicates, regarda à son tour quelques mouvements qu'il avait

remarqués dans des filets d'amiante placés au foyer d'une lentille, comme des effets de l'impulsion des rayons lumineux. Il ajoute « qu'ayant poussé, par secousses réitérées, contre le bout libre d'un ressort, le foyer d'une lentille de douze à treize pouces ($0^m.35$) de diamètre, il vit que le ressort faisait des oscillations très-sensibles, comme si on l'avait poussé avec un bâton. »

Ces expériences furent bientôt discutées, dans le sein même de l'Académie, par Mairan et Dufay. « Nous construisîmes, dit Mairan, M. Dufay et moi, une espèce de moulinet de cuivre bien mobile; nous y fîmes tomber le foyer d'une loupe de sept à huit pouces ($0^m.16$ à $0^m.18$) de diamètre, et il n'en résulta que des trémoussements équivoques. Je me suis procuré depuis une machine plus légère et plus artistement suspendue : c'est une roue horizontale de fer, d'environ trois pouces ($0^m.08$) de diamètre, ayant six rayons, à l'extrémité de chacun desquels est une petite aile oblique, et dont l'axe, qui est aussi de fer, ne tient, par sa partie supérieure, qu'au bout d'une baguette de fer aimantée. La roue et son axe ne pèsent en tout que 30 grains (1 gramme et demi). Rien n'est plus mobile que cette roue; mais, en même temps, rien n'est moins certain que l'induction qu'on voudrait en tirer en faveur de l'impulsion des rayons. La machine tourne tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, suivant qu'on approche plus ou moins une de ses ailes du foyer en deçà ou au delà, etc. » (*Traité de l'aurore boréale*, p. 371.)

Ces expériences, toutes concluantes qu'elles doivent paraître, n'empêchèrent pas des savants, d'ailleurs très-habiles, de présenter, par la suite, les mouvements qu'on

observe dans un globule d'or ou de tout autre métal fondu au foyer d'une large loupe, comme des effets de l'impulsion des rayons solaires. (Voyez Macquer, *Dictionnaire de chimie.*)

Tel est l'état où M. Flaugergues a cru trouver cette question en 1816; il a imaginé pour la résoudre une expérience qui ne nous paraît pas avoir été faite dans des circonstances favorables. Voici, en effet, par quels moyens il pense avoir levé tous les doutes.

Il a fixé verticalement un tuyau de fer-blanc de $3^m.25$ de longueur, et bouché aux deux bouts, sur le mur méridional de son observatoire. Un fil d'argent attaché à la partie supérieure pendait librement le long du tuyau, et supportait une boule noircie de cuivre jaune, d'environ 6 millimètres de diamètre. Un second tuyau implanté latéralement dans le premier était fermé, à son extrémité, par une lentille double convexe de $0^m.10$ de diamètre. Le foyer de cette lentille coïncidait exactement avec la boule de métal que supportait le fil. En laissant entrer subitement les rayons solaires, à midi, par le tuyau latéral, ils devaient pousser la boule et le fil vers le nord si, comme on l'a supposé, ces rayons exercent une force impulsive sensible : il était facile de reconnaître si le fil s'écartait de la situation verticale, puisque avant de laisser pénétrer la lumière dans le tuyau on avait le soin, dans chaque expérience, de s'assurer que son image passait par la croisée des fils du micromètre adapté à un excellent microscope. Or jamais, dit M. Flaugergues, l'action brusque des rayons réfractés par la lentille n'a déplacé la boule; jamais le fil d'argent n'a été dérangé

de la situation verticale. Quelquefois seulement « on remarquait un léger trémoussement; mais cela ne durait que quelques instants, et ce fil reprenait bien vite son immobilité primitive. »

Ceux qui connaissent l'habileté de M. Flaugergues s'étonneront sans doute avec nous qu'il ait espéré apprécier l'impulsion des rayons solaires, en l'opposant à une force aussi considérable que celle qui est nécessaire pour entraîner hors de la verticale un fil chargé d'une boule de cuivre de 6 millimètres de diamètre : un levier horizontal, comme celui de Mairan et de Dufay, aurait été incomparablement plus sensible, surtout si on l'avait suspendu à un fil sans torsion. Ce moyen, dont on connaît toute l'exactitude par les expériences de Coulomb, a été appliqué depuis un grand nombre d'années à la recherche qui nous occupe. On trouve, par exemple, dans l'*Histoire de l'Optique* de Priestley (page 387) la description de l'appareil dont s'est servi Michell à qui Cavendish a emprunté la méthode qu'il a suivie dans la détermination de la moyenne densité de la Terre. Une lame de cuivre de 7 centimètres carrés, extrêmement mince, fut fixée au bout d'un fil de clavecin délié et d'environ 0m.27 de longueur. Une chape d'agate, semblable à celle des aiguilles de boussole, reposait sur une pointe très-aiguë et supportait le fil. Le poids total de l'appareil ne surpassait pas six dixièmes de gramme; une boîte vitrée mettait toutes les parties à l'abri des agitations de l'air extérieur. En projetant la lumière solaire sur la petite plaque de cuivre, à l'aide d'un miroir concave réfléchissant, de 60 centimètres de diamètre, Michell vit, à plu-

sieurs reprises, le levier se mouvoir avec une vitesse d'environ 0m.027 par seconde : ce léger mouvement lui parut devoir être attribué à l'impulsion des rayons solaires [1]. Mais n'est-il pas plus naturel de le considérer comme l'effet des courants d'air qui devaient nécessairement s'établir dans l'intérieur de la boîte? Michell nous apprend, en effet, que la température considérable qu'éprouva la petite plaque de cuivre durant ses expériences, altéra bientôt sa forme et sa position, au point de la faire dévier sensiblement de la situation verticale qu'on lui avait donnée à l'origine, et qu'alors, en agissant sous l'influence du courant ascendant comme une aile de moulin à vent, au lieu de reculer toujours devant le rayon lumineux, elle

1. En admettant que le mouvement de 0m.027 en une seconde, observé dans l'extrémité du levier, est l'effet de l'impulsion des rayons solaires, Michell calcule la masse du faisceau total de lumière qui frappait en une seconde la petite plaque de cuivre; mais son calcul est inexact. Voici comment, en employant ses propres données, on pourrait le rectifier. Nous supposons que la lumière est perpendiculaire au levier pendant toute la durée de la première seconde, et que son impulsion ne s'étend que sur une petite portion de la plaque qui le termine; que le levier est de plus soutenu par son centre de gravité. Cela posé, si l'on désigne par r la longueur de l'arc décrit par l'extrémité du levier en 1 seconde de temps, par h l'espace que parcourt la lumière dans le même intervalle, par p la masse de la lumière qui tombe sur le levier en une seconde, et par m la masse du levier, on a :

$$p = \frac{2}{3} m \frac{r}{h}.$$

Michell trouve, pour le rapport de r à h, celui de 1 à 12,000,000,000: m était 600 milligrammes; la masse p serait donc les $\frac{2}{3}$ de $\frac{600 \text{ milligr.}}{12,000,000,000}$ ou la trente-millionième partie d'un milligramme.

L'étendue superficielle du miroir de Michell était d'environ 32 décimètres carrés; et comme un métal ne réfléchit guère que la moitié de la lumière incidente, c'est comme si la surface du miroir

avait quelquefois un mouvement contraire et marchait, pour ainsi dire, à leur rencontre. Au reste, lors même qu'on voudrait admettre que la plaque de cuivre était à l'origine parfaitement verticale, et qu'il ne se produisait pas de courants d'air dans la boîte, on expliquerait encore d'une manière fort naturelle le mouvement dont parle Michell, en remarquant, comme l'a déjà fait le docteur Thomas Young, que l'air étant plus échauffé sur la face où tombait la lumière que sur la face opposée, cet excès de température devait produire, du même côté, un excès de pression, et, par suite, un mouvement rétrograde dans le levier. Les expériences de Bennet, dont il nous reste encore à parler, lèveraient d'ailleurs tous les doutes qu'on pourrait conserver à cet égard, puis-

était seulement de 16 décimètres carrés; on aurait donc $\frac{1}{30,000,000}$ de milligramme pour la masse de la lumière qui tombe, en une seconde de temps, sur une surface de 16 décimètres carrés, et $\frac{1}{480,000,000}$ pour celle qui correspond à un décimètre carré. Si l'on voulait calculer ensuite la quantité de matière qui émane en une seconde d'un décimètre carré pris sur le Soleil, on remarquerait que la densité de la lumière est plus grande à la surface de cet astre que sur la Terre, dans le rapport de 45,000 à 1, et conséquemment qu'un décimètre carré doit fournir par seconde $\frac{45,000}{480,000,000}$ de milligramme $= \frac{1}{10,700}$ de milligramme; c'est-à-dire un peu plus de 8 milligrammes par jour. Ceci correspond à environ 18 kilogrammes en six mille ans. Une telle perte en poids, par décimètre carré de la surface du Soleil, n'aurait occasionné dans le diamètre, après six cents siècles, qu'une diminution d'environ 4m.5, même en admettant que la densité de cet astre ne fût pas plus grande que celle de l'eau. Les expériences de Bennet, que nous avons rapportées dans le texte, conduiraient à des résultats incomparablement plus petits encore.

Franklin avait présenté, dans un de ses ouvrages, le défaut d'impulsion des rayons solaires, comme une très-forte objection contre

qu'elles ont été faites dans le vide. « A l'extrémité d'un fil d'or très-fin, de trois pouces ($0^m.076$) de long, et suspendu dans un cylindre de verre par un fil d'araignée, j'attachai, dit ce savant, un petit morceau circulaire de papier à écrire. Je fis tomber alors le foyer d'une large lentille sur le papier, afin de voir si l'impulsion des rayons solaires ne le déplacerait pas; mais quoique cette expérience ait été souvent répétée, et qu'une fois même j'aie fait le vide dans le récipient, il ne m'a pas été possible d'apercevoir d'autres mouvements que ceux qui étaient l'effet de la chaleur. » (*Philos. transact.* pour 1792, p. 87.)

Les fils d'araignée, soit à cause de leur excessive ténuité ou de leur constitution glutineuse, n'ont qu'une très-légère force de torsion. Bennet a fait, à ce sujet, des expé-

le système de l'émission. « Les plus petites parties de matière ne doivent-elles pas, dit-il, être douées d'une force supérieure à celle d'un boulet de canon de vingt-quatre? » (Voyez *Experiments and Observations on Electricity*, 1769, page 264.)

En réponse à ce doute, Horsley montra, par un calcul numérique très-simple, que la force d'impulsion d'une molécule sphérique trois fois plus dense que le fer, et d'un diamètre égal à la millionième partie d'un quarante-millième de millimètre, ne surpasserait pas celle d'un boulet de fer de 6 millimètres de diamètre, et qui parcourrait 30 centimètres en cent quarante-quatre millions de millions d'années.

Il paraît donc fort douteux qu'on puisse jamais puiser, dans des considérations de ce genre, des arguments décisifs en faveur de l'un ou l'autre des deux systèmes entre lesquels l'opinion de quelques physiciens est encore indécise. Nous ne terminerons pas cette note sans rappeler qu'un changement quelconque sur la masse du Soleil donnerait naissance, dans le mouvement de la Terre, à une inégalité séculaire que les observations astronomiques auraient fait reconnaître, lors même que ce changement, en deux mille ans, n'aurait pas surpassé un dix-millionième de la masse primitive. (Voyez *Mécanique céleste*, tome IV, page 325.)

riences curieuses et qui prouvent l'extrême sensibilité de ce mode de suspension. Par exemple, un fil de clavecin très-fin, de 76 millimètres de long, ayant été chauffé jusqu'au rouge à la flamme d'une chandelle et placé ensuite dans la direction du méridien magnétique, acquit, en se refroidissant par l'influence du globe, une légère force directrice. On le suspendit alors à un fil d'araignée de 76 millimètres de long; un cheveu attaché par du vernis au pôle nord et correspondant à une échelle d'ivoire divisée, servait d'index et devait faire reconnaître les plus petits déplacements. Dans cet état, à l'aide d'un aimant extérieur, on fit faire plus de mille tours tant au fil magnétique qu'au fil d'araignée qui le supportait. Néanmoins, lorsque l'aimant fut retiré, le fil, abandonné à lui-même, revint prendre aussitôt et sans se détordre la position qu'il avait à l'origine. Mille tours ne donnent donc pas à un fil d'araignée de 76 millimètres de long une force de torsion qui soit appréciable, lors même qu'on l'oppose à la légère force directrice qu'un fil de fer, court et délié, acquiert par l'action du globe terrestre en se refroidissant. Dans d'autres expériences, un fil d'araignée de 63 millimètres de longueur, auquel on avait fait faire dix-huit mille révolutions sur lui-même, s'était raccourci de 25 millimètres sans qu'il eût été possible d'apercevoir, par les moyens les plus délicats, l'effet de la force de torsion. On conçoit aisément que ces méthodes sont incomparablement plus exactes que celle dont M. Flaugergues s'est servi, et qu'on ne saurait désormais rien faire de concluant sur la question de l'impulsion de la lumière, si ce n'est dans le vide et à l'aide de la balance de torsion.

LE DAGUERRÉOTYPE

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

Dans la séance de l'Académie des sciences du 7 janvier 1839, j'ai donné pour la première fois une idée générale de la belle découverte due à M. Daguerre, et sur laquelle la majeure partie du public n'avait jusqu'alors que des notions erronées. Je me suis à peu près exprimé dans les termes suivants :

« Tout le monde connaît l'appareil d'optique appelé chambre obscure ou chambre noire, et dont l'invention appartient à J.-B. Porta ; tout le monde a remarqué avec quelle netteté, avec quelle vérité de couleur et de ton les objets extérieurs vont se reproduire sur l'écran placé au foyer de la large lentille qui constitue la partie essentielle de cet instrument ; tout le monde, après avoir admiré ces images, s'est abandonné au regret qu'elles ne pussent pas être conservées.

« Ce regret sera désormais sans objet : M. Daguerre a découvert des écrans particuliers sur lesquels l'image optique laisse une empreinte parfaite ; des écrans où tout ce que l'image renfermait se trouve reproduit jusque dans les plus minutieux détails avec une exactitude, avec

une finesse incroyables. En vérité, il n'y aurait pas d'exagération à dire que l'inventeur a découvert les moyens de fixer les images si sa méthode conservait les couleurs; mais il faut s'empresser de le dire pour détromper une partie du public, il n'y a dans les tableaux, dans les copies de M. Daguerre, comme dans un dessin au crayon noir, comme dans une gravure au burin, ou mieux encore (l'assimilation sera plus exacte) comme dans une gravure à la manière noire ou à l'aqua-tinta, que du noir, du blanc et du gris, que de la lumière, de l'obscurité et des demi-teintes. En un mot, dans la chambre noire de M. Daguerre, la lumière reproduit elle-même les formes et les proportions des objets extérieurs avec une précision presque mathématique; les rapports photométriques des diverses parties blanches, noires, grises, sont exactement conservés; mais des demi-teintes représentent le rouge, le jaune, le vert, etc., car la méthode crée des dessins et non des tableaux en couleur.

«Les principaux produits de ses nouveaux procédés, que M. Daguerre a mis sous les yeux de trois membres de l'Académie, MM. de Humboldt, Biot et Arago, sont une vue de la grande galerie qui joint le Louvre aux Tuileries, une vue de la Cité et des tours de Notre-Dame, des vues de la Seine et de plusieurs de ses ponts, des vues de quelques-unes des barrières de la capitale. Tous ces tableaux supportent l'examen à la loupe sans rien perdre de leur pureté, du moins pour les objets qui étaient immobiles pendant que leurs images s'engendraient.

«Le temps nécessaire à l'exécution d'une vue, quand on veut arriver à de grandes vigueurs de ton, varie avec

l'intensité de la lumière, et, dès lors, avec l'heure du jour et avec la saison. En été et en plein midi, huit à dix minutes suffisent. Dans d'autres climats, en Égypte, par exemple, on pourrait probablement se borner à deux ou trois minutes.

« Le procédé de M. Daguerre n'a pas seulement exigé la découverte d'une substance plus sensible à l'action de la lumière que toutes celles dont les physiciens et les chimistes se sont déjà occupés; il a fallu trouver encore le moyen de lui enlever à volonté cette propriété; c'est ce que M. Daguerre a fait : ses dessins, quand il les a terminés, peuvent être exposés en plein soleil sans en recevoir aucune altération.

« L'extrême sensibilité de la préparation dont M. Daguerre fait usage ne constitue pas le seul caractère par lequel sa découverte diffère des essais imparfaits auxquels on s'était jadis livré pour dessiner des silhouettes sur une couche de chlorure d'argent. Ce sel est blanc, la lumière le noircit; la partie blanche des images passe donc au noir, tandis que les portions noires, au contraire, restent blanches. Sur les écrans de M. Daguerre, le dessin et l'objet sont tout pareils : le blanc correspond au blanc, les demi-teintes aux demi-teintes, le noir au noir.

« Il est facile de comprendre tout ce que l'invention de M. Daguerre offrira de ressources aux voyageurs, tout ce qu'en pourront tirer aujourd'hui surtout les sociétés savantes et les simples particuliers qui s'occupent avec tant de zèle de la représentation graphique des monuments d'architecture répandus dans les diverses parties du royaume. La facilité et l'exactitude qui résulteront

des nouveaux procédés, loin de nuire à la classe si intéressante des dessinateurs, leur procurera un surcroît d'occupation ; ils travailleront certainement moins en plein air, mais beaucoup plus dans leurs ateliers.

« Le nouveau réactif semble aussi devoir fournir aux physiciens et aux astronomes des moyens d'investigation très-précieux. A la demande des académiciens déjà cités, M. Daguerre a jeté l'image de la Lune, formée au foyer d'une médiocre lentille, sur un de ses écrans, et elle y a laissé une empreinte blanche évidente. En faisant jadis une semblable expérience avec le chlorure d'argent, une commission de l'Académie, composée de MM. Laplace, Malus et Arago, n'obtint aucun effet appréciable. Peut-être l'exposition à la lumière ne fut-elle pas assez prolongée. En tout cas, M. Daguerre aura été le premier à produire une modification chimique sensible à l'aide des rayons lumineux de notre satellite.

« L'invention de M. Daguerre est le fruit d'un travail assidu de plusieurs années, pendant lesquelles il a eu pour collaborateur son ami, feu M. Niepce, de Chalon-sur-Saône. En cherchant comment il pourrait être dédommagé de ses peines et de ses dépenses, ce peintre distingué n'a pas tardé à reconnaître qu'un brevet d'invention ne le conduirait pas au but : une fois dévoilés, ses procédés seraient à la disposition de tout le monde. Il semble donc indispensable que le gouvernement dédommage directement M. Daguerre, et que la France ensuite dote noblement le monde entier d'une découverte qui peut tant contribuer aux progrès des arts et des sciences. J'adresserai, à ce sujet, une demande au ministère ou

aux chambres dès que M. Daguerre, qui a proposé de m'initier à tous les détails de sa méthode, m'aura prouvé qu'aux admirables propriétés dont les résultats obtenus sont une manifestation si éclatante, cette méthode joint, comme l'annonce l'inventeur, le mérite d'être économique, d'être facile, de pouvoir être employée en tout lieu par les voyageurs. »

Conformément à l'engagement que j'avais pris devant l'Académie des sciences, je ne tardai pas à m'entendre avec le ministre de l'intérieur pour qu'un projet de loi fût préparé aux chambres de manière à faire jouir le public de la découverte du procédé servant à fixer les images de la chambre obscure. Ce projet de loi était ainsi conçu :

« Art. 1. La convention provisoire conclue le 14 juin 1839 entre le ministre de l'intérieur, agissant pour le compte de l'État, et MM. Daguerre et Niepce fils, est approuvée.

« Art. 2. Il est accordé à M. Daguerre une pension annuelle et viagère de 6,000 fr.; à M. Niepce fils une pension annuelle et viagère de 4,000 fr.

« Art. 3. Ces pensions seront inscrites au livre des pensions civiles du trésor public, avec jouissance à partir de la promulgation de la présente loi; elles ne seront pas sujettes aux lois prohibitives du cumul; elles seront reversibles par moitié sur les veuves de MM. Daguerre et Niepce. »

Je présentai à la Chambre des députés le 3 juillet 1839

au nom de la commission[1] chargée d'examiner ce projet de loi, un rapport approbatif. Je m'exprimai dans les termes suivants :

« L'intérêt qu'on a manifesté, dans cette enceinte et ailleurs, pour les travaux dont M. Daguerre a mis dernièrement les produits sous les yeux du public, a été vif, éclatant, unanime. Aussi la Chambre, suivant toute probabilité, n'attend-elle de sa commission qu'une approbation pure et simple du projet de loi que M. le ministre de l'intérieur a présenté. Cependant, après y avoir réfléchi mûrement, il nous a semblé que la mission dont vous nous aviez investis nous imposait d'autres devoirs. Nous avons cru que, tout en applaudissant à l'heureuse idée d'instituer des récompenses nationales en faveur d'inventeurs dont la législation ordinaire des brevets n'aurait pas garanti les intérêts, il fallait, dès les premiers pas dans cette nouvelle voie, montrer avec quelle réserve, avec quel scrupule la Chambre procéderait. Soumettre à un examen minutieux et sévère l'œuvre de génie sur laquelle nous devons aujourd'hui statuer, ce sera décourager les médiocrités ambitieuses qui, elles aussi, aspireraient à jeter dans cette enceinte leurs productions vulgaires et sans avenir ; ce sera prouver que vous entendez placer dans une région très-élevée les récompenses qui pourront vous être demandées au nom de la gloire nationale ; que vous ne consentirez jamais à les en faire descendre, à ternir leur éclat en les prodiguant.

1. Cette commission était composée de MM. Arago, Étienne, Carl, Vatout, de Beaumont, Tournouër, François Delessert, Combarel de Leyval, Vitet.

« Ce peu de mots fera comprendre à la Chambre comment nous avons été conduits à examiner :

« Si le procédé de M. Daguerre est incontestablement une invention ;

« Si cette invention rendra à l'archéologie et aux beaux-arts des services de quelque valeur ;

« Si elle pourra devenir usuelle ;

« Enfin si l'on doit espérer que les sciences en tireront parti. »

Je reproduis plus loin dans cette Notice, avec quelques développements, les explications techniques dans lesquelles je suis entré dans mon rapport, que je terminais en ces termes :

« Nous venons d'essayer de faire ressortir tout ce que la découverte de M. Daguerre offre d'intérêt, sous le quadruple rapport de la nouveauté, de l'utilité artistique, de la rapidité d'exécution et des ressources précieuses que la science lui empruntera. Nous nous sommes efforcés de vous faire partager nos convictions, parce qu'elles sont vives et sincères, parce que nous avons tout examiné, tout étudié avec le scrupule religieux qui nous était imposé par vos suffrages ; parce que s'il eût été possible de méconnaître l'importance du daguerréotype et la place qu'il occupera dans l'estime des hommes, tous nos doutes auraient cessé en voyant l'empressement que les nations étrangères mettaient à se servir d'une date erronée, d'un fait douteux, du plus léger prétexte, pour soulever des questions de priorité, pour essayer d'ajouter le brillant fleuron que formeront toujours les procédés photographiques, à la couronne de découvertes dont chacune

d'elles se pare. N'oublions pas de le proclamer, toute discussion sur ce point a cessé, moins encore en présence de titres d'antériorité authentiques, incontestables, sur lesquels MM. Niepce et Daguerre se sont appuyés, qu'à raison de l'incroyable perfection que M. Daguerre a obtenue. S'il le fallait, nous ne serions pas embarrassés de produire ici des témoignages des hommes les plus éminents de l'Angleterre, de l'Allemagne, et devant lesquels pâlirait complétement ce qui a été dit chez nous de plus flatteur, touchant la découverte de notre compatriote. Cette découverte, la France l'a adoptée ; dès le premier moment elle s'est montrée fière de pouvoir en doter libéralement le monde entier. Aussi n'avons-nous pas été surpris du sentiment qu'a fait naître presque généralement dans le public un passage de l'exposé des motifs, écrit à la suite d'un malentendu, et d'où semblait découler la conséquence que l'administration avait marchandé avec l'inventeur ; que les conditions pécuniaires du contrat qu'on vous propose de sanctionner, étaient le résultat d'un rabais. Il importe de rétablir les faits.

« Jamais le membre de la Chambre que M. le ministre de l'intérieur avait chargé de ses pleins pouvoirs, n'a marchandé avec M. Daguerre. Leurs entretiens ont exclusivement roulé sur le point de savoir si la récompense que l'habile artiste a si bien méritée serait une pension inscrite ou une somme une fois payée. De prime abord, M. Daguerre aperçut que la stipulation d'une somme fixe donnerait au contrat à intervenir le caractère mesquin d'une vente. Il n'en était pas de même d'une pension. C'est par une pension que vous récompensez le guerrier

qui a été mutilé sur les champs de bataille, le magistrat qui a blanchi sur son siége; que vous honorez les familles de Cuvier, de Jussieu, de Champollion. De pareils souvenirs ne pouvaient manquer d'agir sur le caractère élevé de M. Daguerre : il se décida à demander une pension. Ce fut, au reste, d'après les intentions de M. le ministre de l'intérieur, M. Daguerre lui-même qui en fixa le montant à 8,000 fr., partageables par moitié entre lui et son associé, M. Niepce fils; la part de M. Daguerre a depuis été portée à 6,000 fr., soit à cause de la condition qu'on a imposée spécialement à cet artiste, de faire connaître les procédés de peinture et d'éclairage des tableaux du Diorama actuellement réduits en cendres, soit surtout à raison de l'engagement qu'il a pris de livrer au public tous les perfectionnements dont il pourrait enrichir encore ses méthodes photographiques. L'importance de cet engagement ne paraîtra certainement douteuse à personne, lorsque nous aurons dit, par exemple, qu'il suffira d'un tout petit progrès pour que M. Daguerre arrive à l'aide de ses procédés à faire le portrait des personnes vivantes. Quant à nous, loin de craindre que M. Daguerre laisse à d'autres expérimentateurs le soin d'ajouter à ses succès présents, nous avions plutôt cherché les moyens de modérer son ardeur. Tel était même, nous l'avouerons franchement, le motif qui nous faisait désirer que vous déclarassiez la pension insaisissable et incessible; mais nous avons reconnu que cet amendement serait superflu, d'après les dispositions de la loi du 22 floréal an VII et de l'arrêté du 7 thermidor an X. La commission, à l'unanimité des voix, n'a donc plus qu'à vous

proposer d'adopter purement et simplement le projet de loi du gouvernement. »

La Chambre des députés a bien voulu voter la loi sur ce rapport sans aucune discussion.

CHAPITRE II

DE LA CHAMBRE OBSCURE

Un physicien napolitain, Jean-Baptiste Porta, reconnut, il y a environ deux siècles, que si l'on perce un très-petit trou dans le volet de la fenêtre d'une chambre bien close, ou, mieux encore, dans une plaque métallique mince appliquée à ce volet, tous les objets extérieurs dont les rayons peuvent atteindre le trou vont se peindre sur le mur de la chambre qui lui fait face, avec des dimensions réduites ou agrandies, suivant les distances; avec des formes et des situations relatives exactes, du moins dans une grande étendue du tableau; avec les couleurs naturelles. Porta découvrit, peu de temps après, que le trou n'a nullement besoin d'être petit; qu'il peut avoir une largeur quelconque quand on le couvre d'un de ces verres bien polis qui, à raison de leur forme, ont été appelés des lentilles.

Les images produites par l'intermédiaire du trou ont peu d'intensité; les autres brillent d'un éclat proportionnel à l'étendue superficielle de la lentille qui les engendre. Les premières ne sont jamais exemptes de confusion. Les images des lentilles, au contraire, quand on les reçoit exactement au foyer, ont des contours d'une

grande netteté. Cette netteté est devenue vraiment étonnante, depuis l'invention des lentilles achromatiques; depuis qu'aux lentilles simples, composées d'une seule espèce de verre, et possédant, dès lors, autant de foyers distincts qu'il y a de couleurs différentes dans la lumière blanche, on a pu substituer des lentilles achromatiques, des lentilles qui réunissent tous les rayons possibles dans un seul foyer; depuis aussi, que la forme périscopique a été adoptée.

Porta fit construire des chambres noires portatives. Chacune d'elles était composée d'un tuyau, plus ou moins long, armé d'une lentille. L'écran blanchâtre en papier ou en carton, sur lequel les images allaient se peindre, occupait le foyer. Le physicien napolitain destinait ses petits appareils aux personnes qui ne savent pas dessiner. Suivant lui, pour obtenir des vues parfaitement exactes des objets les plus compliqués, il devait suffire de suivre, avec la pointe d'un crayon, les contours de l'image focale.

Ces prévisions de Porta ne se sont pas complétement réalisées. Les peintres, les dessinateurs, ceux particulièrement qui exécutent les vastes toiles des panoramas et des dioramas, ont bien encore quelquefois recours à la chambre noire; mais c'est seulement pour tracer, en masse, les contours des objets, pour les placer dans les vrais rapports de grandeur et de position, pour se conformer à toutes les exigences de la perspective linéaire. Quant aux effets dépendants de l'imparfaite diaphanéité de notre atmosphère, et qu'on a caractérisés par le terme assez impropre de perspective aérienne, les peintres exercés eux-mêmes n'espéraient pas que, pour les repro-

duire avec exactitude, la chambre obscure pût leur être d'aucun secours. Aussi n'y a-t-il personne qui, après avoir remarqué la netteté de contours, la vérité de formes et de couleur, la dégradation exacte de teintes qu'offrent les images engendrées par cet instrument, n'ait vivement regretté qu'elles ne se conservassent pas d'elles-mêmes; n'ait appelé de ses vœux la découverte de quelque moyen de les fixer sur l'écran focal : aux yeux de tous, il faut également le dire, c'était là un rêve destiné à prendre place parmi les conceptions extravagantes d'un Wilkins ou d'un Cyrano de Bergerac. Le rêve, cependant, vient de se réaliser. Nous allons prendre l'invention dans son germe et en marquer soigneusement les progrès.

CHAPITRE III

TENTATIVES DES ANCIENS POUR FIXER LES IMAGES DE LA CHAMBRE OBSCURE

Les alchimistes réussirent jadis à unir l'argent à l'un des éléments de l'acide marin. Le produit de la combinaison était un sel blanc qu'ils appelèrent *lune* ou *argent corné*[1]. Ce sel jouit de la propriété remarquable de noircir à la lumière, de noircir d'autant plus vite que les

1. Dans l'ouvrage de Fabricius (*De rebus metallicis*), imprimé en 1556, il est déjà longuement question d'une sorte de mine d'argent qu'on appelait *argent corné*, ayant la couleur et la transparence de la corne, la fusibilité et la mollesse de la cire. Cette substance, exposée à la lumière, passait du gris jaunâtre au violet, et par une action plus longtemps prolongée, presque au noir : c'était l'argent corné naturel.

rayons qui le frappent sont plus vifs. Couvrez une feuille de papier d'une couche d'argent corné ou, comme on dit aujourd'hui, d'une couche de chlorure d'argent; formez sur cette couche, à l'aide d'une lentille, l'image d'un objet; les parties obscures de l'image, les parties sur lesquelles ne frappe aucune lumière, resteront blanches; les parties fortement éclairées deviendront complétement noires; les demi-teintes seront représentées par des gris plus ou moins foncés.

Placez une gravure sur du papier enduit de chlorure d'argent et exposez le tout à la lumière solaire, la gravure en dessus. Les tailles remplies de noir arrêteront les rayons; les parties correspondantes de l'enduit, celles que ces tailles touchent et recouvrent, conserveront leur blancheur primitive. Là au contraire où l'eau-forte, le burin n'ont pas agi; là où le papier a conservé sa demi-diaphanéité, la lumière solaire passera et ira noircir la couche saline. Le résultat nécessaire de l'opération sera donc une image semblable à la gravure par la forme, mais inverse quant aux teintes : le blanc s'y trouvera reproduit en noir, et réciproquement.

Ces applications de la si curieuse propriété du chlorure d'argent, découverte par les anciens alchimistes, sembleraient devoir s'être présentées d'elles-mêmes et de bonne heure; mais ce n'est pas ainsi que procède l'esprit humain. Il nous faudra descendre jusqu'aux premières années du XIX[e] siècle pour trouver les premières traces de l'art photographique.

Alors Charles, notre compatriote, se servira, dans ses cours, d'un papier enduit pour engendrer des silhouettes

à l'aide de l'action lumineuse. Charles est mort sans décrire la préparation dont il faisait usage; et comme, sous peine de tomber dans la plus inextricable confusion, l'historien des sciences ne doit s'appuyer que sur des documents imprimés, authentiques, il est de toute justice de faire remonter les premiers linéaments du nouvel art à un Mémoire de Wedgwood, ce fabricant si célèbre dans le monde industriel par le perfectionnement des poteries et par l'invention d'un pyromètre destiné à mesurer les plus hautes températures.

Le Mémoire de Wedgwood parut en 1802, dans le numéro de juin du journal *of the royal Institution of Great Britain*. L'auteur veut, soit à l'aide de peaux, soit avec des papiers enduits de chlorure ou de nitrate d'argent, copier les peintures des vitraux des églises, copier des gravures. « Les images de la chambre obscure (nous rapportons fidèlement un passage du Mémoire), il les trouve trop faibles pour produire, dans un temps modéré, de l'effet sur du nitrate d'argent. » (*The images formed by means of a camera obscura have been found to be too faint to produce, in any moderate time, an effect upon the nitrate of silver.*)

Le commentateur de Wedgwood, l'illustre Humphry Davy, ne contredit pas l'assertion relative aux images de la chambre obscure. Il ajoute seulement, quant à lui, qu'il est parvenu à copier de très-petits objets au microscope solaire, mais seulement à une courte distance de la lentille.

Au reste, ni Wedgwood, ni sir Humphry Davy ne trouvèrent le moyen, l'opération une fois terminée, d'en-

lever à leur enduit (qu'on nous passe l'expression), d'enlever à la toile de leurs tableaux, la propriété de se noircir à la lumière. Il en résultait que les copies qu'ils avaient obtenues ne pouvaient être examinées au grand jour; car au grand jour tout, en très-peu de temps, y serait devenu d'un noir uniforme. Qu'était-ce, en vérité, qu'engendrer des images sur lesquelles on ne pouvait jeter un coup d'œil qu'à la dérobée, et même seulement à la lumière d'une lampe; qui disparaissaient en peu d'instants, si on les examinait au jour?

CHAPITRE IV

ASSOCIATION DE MM. NIEPCE ET DAGUERRE

Après les essais imparfaits, insignifiants, dont nous venons de donner l'analyse, nous arriverons, sans rencontrer sur notre route aucun intermédiaire, aux recherches de MM. Niepce et Daguerre.

Feu M. Niepce était un propriétaire retiré dans les environs de Chalon-sur-Saône. Il consacrait ses loisirs à des recherches scientifiques. Une d'elles, concernant certaine machine où la force élastique de l'air brusquement échauffé devait remplacer l'action de la vapeur, subit avec assez de succès une épreuve fort délicate : l'examen de l'Académie des sciences. Les recherches photographiques de M. Niepce paraissent remonter jusqu'à l'année 1814. Ses premières relations avec M. Daguerre sont du mois de janvier 1826. L'indiscrétion d'un opticien de Paris lui apprit alors que M. Daguerre était

occupé d'expériences ayant aussi pour but de fixer les images de la chambre obscure. Ces faits sont consignés dans des lettres que nous avons eues sous les yeux. En cas de contestation, la date certaine des premiers travaux photographiques de M. Daguerre serait donc l'année 1826.

M. Niepce se rendit en Angleterre en 1827. Dans le mois de décembre de cette même année, il présenta un Mémoire sur ses travaux photographiques à la Société royale de Londres. Le Mémoire était accompagné de plusieurs échantillons sur métal, produits des méthodes déjà découvertes alors par notre compatriote. A l'occasion d'une réclamation de priorité, ces échantillons, encore en bon état, sont loyalement sortis naguère des collections de divers savants anglais. Ils prouvent sans réplique que pour la copie photographique des gravures, que pour la formation, à l'usage des graveurs, de planches à l'état d'ébauches avancées, M. Niepce connaissait, en 1827, le moyen de faire correspondre les ombres aux ombres, les demi-teintes aux demi-teintes, les clairs aux clairs; qu'il savait, de plus, ses copies une fois engendrées, les rendre insensibles à l'action ultérieure et noircissante des rayons solaires. En d'autres termes, par le choix de ses enduits, l'ingénieux expérimentateur de Chalon résolut, dès 1827, un problème qui avait défié la haute sagacité d'un Wedgwood, d'un Humphry Davy.

L'acte d'association (enregistré) de MM. Niepce et Daguerre, pour l'exploitation en commun des méthodes photographiques, est du 14 décembre 1829. Les actes postérieurs, passés entre M. Isidore Niepce fils, comme

héritier de son père, et M. Daguerre, font mention, premièrement, de perfectionnements apportés par le peintre de Paris aux méthodes du physicien de Chalon; en second lieu, de procédés entièrement neufs, découverts par M. Daguerre, et doués de l'avantage (ce sont les propres expressions d'un des actes) « de reproduire les images avec soixante ou quatre-vingts fois plus de promptitude » que les procédés anciens.

CHAPITRE V

PROCÉDÉ DE M. NIEPCE

Dans ce que nous disions tout à l'heure des travaux de M. Niepce, on aura sans doute remarqué ces mots restrictifs : « pour la copie photographique des gravures ». C'est qu'en effet, après une multitude d'essais infructueux, M. Niepce avait, lui aussi, à peu près renoncé à reproduire les images de la chambre obscure; c'est que les préparations dont il faisait usage ne se modifiaient pas assez vite sous l'action lumineuse; c'est qu'il lui fallait dix à douze heures pour engendrer un dessin; c'est que, pendant de si longs intervalles de temps, les ombres portées se déplaçaient beaucoup; c'est qu'elles passaient de la gauche à la droite des objets; c'est que ce mouvement, partout où il s'opérait, donnait naissance à des teintes plates, uniformes; c'est que, dans les produits d'une méthode aussi défectueuse, tous les effets résultant des contrastes d'ombre et de lumière étaient perdus; c'est que, outre ces immenses inconvénients,

on n'était pas même toujours sûr de réussir; c'est que, après des précautions infinies, des causes insaisissables, fortuites, faisaient qu'on avait tantôt un résultat passable, tantôt une image incomplète ou qui laissait çà et là de larges lacunes; c'est, enfin, qu'exposés aux rayons solaires, les enduits sur lesquels les images se dessinaient, s'ils ne noircissaient pas, se divisaient, se séparaient par petites écailles.

Voici, du reste, une indication abrégée du procédé de M. Niepce.

M. Niepce faisait dissoudre du bitume sec de Judée dans de l'huile de lavande. Le résultat de cette évaporation était un vernis épais que le physicien de Chalon appliquait par tamponnement sur une lame métallique polie, par exemple sur du cuivre plaqué ou recouvert d'une lame d'argent.

La plaque, après avoir été soumise à une douce chaleur, restait couverte d'une couche adhérente et blanchâtre : c'était le bitume en poudre.

La planche ainsi recouverte était placée au foyer de la chambre noire. Au bout d'un certain temps, on apercevait sur la poudre de faibles linéaments de l'image. M. Niepce eut la pensée ingénieuse que ces traits, peu perceptibles, pourraient être renforcés. En effet, en plongeant sa plaque dans un mélange d'huile de lavande et de pétrole, il reconnut que les régions de l'enduit qui avaient été exposées à la lumière restaient presque intactes, tandis que les autres se dissolvaient rapidement et laissaient ensuite le métal à nu. Après avoir lavé la plaque avec de l'eau, on avait donc l'image formée dans la

chambre noire, les clairs correspondaient aux clairs et les ombres aux ombres. Les clairs étaient formés par la lumière diffuse provenant de la matière blanchâtre et non polie du bitume ; les ombres par les parties polies et dénudées du miroir, à la condition, bien entendu, que ces parties se mirassent dans des objets sombres ; à la condition qu'elles ne pussent pas envoyer spéculairement vers l'œil quelque lumière un peu vive. Les demi-teintes, quand elles existaient, pouvaient résulter de la partie du vernis qu'une pénétration partielle du dissolvant avait rendue moins mate que les régions restées intactes.

Le bitume de Judée, réduit en poudre impalpable, n'a pas une teinte blanche bien prononcée. On serait plus près de la vérité en disant qu'il est gris. Le contraste entre les clairs et l'ombre, dans les dessins de M. Niepce, était donc très-peu marqué. Pour ajouter à l'effet, l'auteur avait songé à noircir, après coup, les parties nues du métal, à les faire attaquer soit par le sulfure de potassium, soit par l'iode ; mais il paraît n'avoir pas songé que cette dernière substance, exposée à la lumière du jour, aurait éprouvé des changements continuels. En tout cas, on voit que M. Niepce ne prétendait pas se servir d'iode comme substance sensitive ; qu'il ne voulait l'appliquer qu'à titre de substance noircissante et seulement après la formation de l'image dans la chambre noire ; après le renforcement ou, si on l'aime mieux, après le dégagement de cette image par l'action du dissolvant. Dans une pareille opération que seraient devenues les demi-teintes?

Au nombre des principaux inconvénients de la méthode

de M. Niepce, il faut ranger cette circonstance qu'un dissolvant trop fort enlevait quelquefois le vernis par places, à peu près en totalité, et qu'un dissolvant trop faible ne dégageait pas suffisamment l'image. La réussite n'était jamais assurée.

CHAPITRE VI

MODIFICATIONS APPORTÉES PAR M. DAGUERRE A LA MÉTHODE DE M. NIEPCE

M. Daguerre imagina une méthode qu'on appela la méthode Niepce perfectionnée. Il substitua d'abord le résidu de la distillation de l'huile de lavande au bitume, à cause de sa plus grande blancheur et de sa plus grande sensibilité. Ce résidu était dissous dans l'alcool ou dans l'éther. Le liquide, déposé ensuite en une couche très-mince et horizontale sur le métal, y laissait, en s'évaporant, un enduit pulvérulent uniforme, résultat qu'on n'obtenait pas par tamponnement.

Après l'exposition de la plaque ainsi préparée au foyer de la chambre noire, M. Daguerre la plaçait horizontalement et à distance au-dessus d'un vase contenant une huile essentielle légèrement chauffée.

Dans cette opération, renfermée entre des limites convenables, et qu'un simple coup d'œil, au reste, permettait d'apprécier :

La vapeur provenant de l'huile laissait intactes les particules de l'enduit pulvérulent qui avaient reçu l'action d'une vive lumière ;

Elle pénétrait partiellement, et plus ou moins, les régions du même enduit qui, dans la chambre noire, correspondaient aux demi-teintes ;

Les parties restées dans l'ombre étaient, elles, pénétrées entièrement.

Ici le métal ne se montrait à nu dans aucune des parties du dessin ; ici les clairs étaient formés par une agglomération d'une multitude de particules blanches et très-mates; les demi-teintes, par des particules également condensées, mais dont la vapeur avait plus ou moins affaibli la blancheur et le mat; les ombres, par des particules toujours en même nombre et devenues entièrement diaphanes.

Plus d'éclat, une plus grande variété de tons, plus de régularité, la certitude de réussir dans la manipulation, de ne jamais emporter aucune portion de l'image, tels étaient les avantages de la méthode modifiée de M. Daguerre sur celle de M. Niepce ; malheureusement, le résidu de l'huile de lavande, quoique plus sensible à l'action de la lumière que le bitume de Judée, est encore assez paresseux pour que les dessins ne commencent à y poindre qu'après un temps fort long.

Le genre de modification que le résidu de l'huile de lavande reçoit par l'action de la lumière, et à la suite duquel les vapeurs des huiles essentielles pénètrent cette matière plus ou moins difficilement, nous est encore inconnu. Peut-être doit-on le regarder comme un simple desséchement de particules; peut-être ne faut-il y voir qu'un nouvel arrangement moléculaire. Cette double hypothèse expliquerait comment la modification s'affaiblit

graduellement et disparaît à la longue, même dans la plus profonde obscurité.

CHAPITRE VII

PROCÉDÉ DE M. DAGUERRE

Dans le procédé auquel le public reconnaissant a donné le nom de *daguerréotype*, l'enduit de la lame de plaqué, la toile du tableau qui reçoit les images est une couche jaune d'or dont la lame se recouvre lorsqu'on la place horizontalement, pendant un certain temps et l'argent en dessous, dans une boîte au fond de laquelle il y a quelques parcelles d'iode abandonnées à l'évaporation spontanée.

Quand cette plaque sort de la chambre obscure, on n'y voit absolument aucun trait. La couche jaunâtre d'iodure d'argent qui a reçu l'image paraît encore d'une nuance parfaitement uniforme dans toute son étendue.

Toutefois si la plaque est exposée, dans une seconde boîte, au courant ascendant de vapeur mercurielle qui s'élève d'une capsule où le liquide est monté, par l'action d'une lampe à esprit-de-vin, à 75 degrés centigrades, cette vapeur produit aussitôt le plus curieux effet : elle s'attache en abondance aux parties de la surface de la plaque qu'une vive lumière a frappées; elle laisse intactes les régions restées dans l'ombre; enfin elle se précipite sur les espaces qu'occupaient les demi-teintes en plus ou moins grande quantité, suivant que, par leur intensité,

ces demi-teintes se rapprochent plus ou moins des parties claires ou des parties noires. En s'aidant de la faible lumière d'une bougie, l'opérateur peut suivre pas à pas la formation graduelle de l'image, peut voir la vapeur mercurielle, comme un pinceau de la plus extrême délicatesse, aller marquer du ton convenable chaque partie de la plaque.

L'image de la chambre noire ainsi reproduite, on doit empêcher que la lumière du jour ne l'altère. M. Daguerre arrive à ce résultat en agitant la plaque dans de l'hyposulfite de soude et en la lavant ensuite avec de l'eau distillée chaude.

D'après M. Daguerre, l'image se forme mieux sur une lame de plaqué (sur une lame d'argent superposée à une lame de cuivre) que sur une lame d'argent isolée. Ce fait, en le supposant bien établi, semblerait prouver que l'électricité joue un rôle dans ces curieux phénomènes.

La lame de plaqué doit être d'abord poncée et décapée ensuite avec l'acide nitrique étendu d'eau. L'influence si utile que joue ici l'acide pourrait bien tenir, comme le pense M. Pelouze, à ce que l'acide enlève à la surface de l'argent les dernières molécules de cuivre.

Quoique l'épaisseur de la couche jaune d'iode, d'après diverses pesées de M. Dumas, ne semble pas devoir s'élever à un millionième de millimètre, il importe, pour la parfaite dégradation des ombres et des lumières, que cette épaisseur soit exactement la même partout. M. Daguerre empêche qu'il se dépose plus d'iode aux bords qu'au centre, en mettant autour de sa plaque une

languette du même métal, large d'un doigt, et qu'on fixe avec des clous sur la tablette en bois qui porte le tout. On ne sait pas encore expliquer d'une manière satisfaisante le mode physique d'action de cette languette.

Voici une circonstance non moins mystérieuse : si l'on veut que l'image produise le maximum d'effet dans la position ordinaire des tableaux (dans la position verticale), il sera nécessaire que la plaque se présente sous l'inclinaison de 45° au courant ascendant vertical de la vapeur mercurielle. Si la plaque était horizontale au moment de la précipitation du mercure, au moment de la naissance de l'image, ce serait sous l'angle de 45° qu'il faudrait la regarder pour trouver le maximum d'effet.

Quand on cherche à expliquer le singulier procédé de M. Daguerre, il se présente immédiatement à l'esprit l'idée que la lumière, dans la chambre obscure, détermine la vaporisation de l'iode partout où elle frappe la couche dorée; que là le métal est mis à nu; que la vapeur mercurielle agit librement sur ces parties dénudées pendant la seconde opération, et y produit un amalgame blanc et mat; que le lavage à l'hyposulfite a pour but : chimiquement, l'enlèvement des parties d'iode dont la lumière n'a pas produit le dégagement; artistiquement, la mise à nu des parties miroitantes qui doivent faire les noirs.

Mais, dans cette théorie, que seraient ces demi-teintes sans nombre et si merveilleusement dégradées qu'offrent les dessins de M. Daguerre? Un seul fait prouvera d'ailleurs que les choses ne sont pas aussi simples :

La lame de plaqué n'augmente pas de poids d'une manière appréciable en se couvrant de la couche d'iode jaune d'or. L'augmentation, au contraire, est très-sensible sous l'action de la vapeur mercurielle. Eh bien, M. Pelouze s'est assuré qu'après le lavage dans l'hyposulfite, la plaque, malgré la présence d'un peu d'amalgame à la surface, pèse moins qu'avant de commencer l'opération. L'hyposulfite enlève donc de l'argent. L'examen chimique du liquide montre qu'il en est réellement ainsi.

Pour rendre compte des effets de lumière que les dessins de M. Daguerre présentent, il semblait suffisant d'admettre que la lame d'argent se couvrait, pendant l'action de la vapeur mercurielle, de sphérules d'amalgame; que ces sphérules, très-rapprochées dans les clairs, diminuaient graduellement en nombre dans les demi-teintes, jusqu'aux noirs où il ne devait y en avoir aucune.

La conjecture du physicien a été vérifiée. M. Dumas a reconnu au microscope que les clairs et les demi-teintes sont réellement formés par des sphérules dont le diamètre lui a paru, ainsi qu'à M. Adolphe Brongniart, être très-régulièrement d'un huit-centième de millimètre. Mais alors pourquoi la nécessité d'une inclinaison de la plaque de 45° au moment de la précipitation de la vapeur mercurielle? Cette inclinaison, en la supposant indispensable avec M. Daguerre, ne semblait-elle pas indiquer l'intervention d'aiguilles ou de filets cristallins qui se prenaient, qui se solidifiaient, qui se groupaient toujours verticalement dans un liquide parfait ou dans un demi-

liquide, et avaient ainsi, relativement à la plaque, une position dépendante de l'inclinaison qu'on avait donnée à celle-ci.

On fera peut-être des milliers de beaux dessins avec le daguerréotype avant que son mode d'action ait été bien complétement analysé.

En prenant la contre-partie des imperfections que j'ai signalées plus haut (p. 472) dans le procédé de M. Niepce, on aurait une énumération à peu près complète des mérites de la méthode que M. Daguerre a découverte à la suite d'un nombre immense d'essais minutieux, pénibles, dispendieux.

Les plus faibles rayons modifient la substance du daguerréotype. L'effet se produit avant que les ombres solaires aient eu le temps de se déplacer d'une manière appréciable. Les résultats sont certains si l'on se conforme à des prescriptions très-simples. Enfin, les images une fois produites, l'action des rayons du Soleil, continuée pendant des années, n'en altère ni la pureté, ni l'éclat, ni l'harmonie.

CHAPITRE VIII

EXAMEN DE QUELQUES RÉCLAMATIONS DE PRIORITÉ

Dès l'apparition du compte-rendu de l'Académie des sciences dans lequel j'avais parlé pour la première fois des résultats obtenus par M. Daguerre, M. Talbot, physicien anglais de beaucoup de mérite, nous écrivit à M. Biot et à moi la lettre suivante :

« Londres, le 29 janvier 1839.

« Messieurs,

« Dans peu de jours, j'aurai l'honneur d'adresser à l'Académie des sciences une réclamation formelle de priorité de l'invention annoncée par M. Daguerre dans ses deux points principaux :

« 1° La fixation des images de la *camera obscura;*

« 2° La conservation subséquente de ces images, de sorte qu'elles peuvent soutenir le plein soleil.

« Très-occupé, en ce moment, d'un Mémoire sur ce sujet, dont la lecture sera faite à la Société royale après-demain, je me borne à vous prier d'agréer l'expression de toute ma considération.

« H.-F. Talbot,

« Membre de la Société royale de Londres. »

Je communiquai cette lettre, comme c'était mon devoir, à l'Académie des sciences et je la fis suivre de quelques observations résumées en ces termes :

« M. Talbot est un esprit trop éminent, un trop bon logicien pour vouloir, dans une question de priorité, tirer aucun parti du Mémoire dont il était très-occupé à la date du 29 janvier 1839 contre une communication académique de M. Daguerre, qui remonte à plus d'un mois. M. Talbot doit incontestablement posséder d'autres titres. Voici quelques détails qu'il sera appelé à discuter :

« La première idée de fixer les images de la chambre obscure ou du microscope solaire sur certaines substances chimiques, n'appartient ni à M. Daguerre ni à M. Talbot. M. Charles, de l'Académie des sciences, qui faisait des

silhouettes dans ses cours publics, a précédé M. Wedgwood.

« Les premiers essais de M. Niepce, de Chalon-sur-Saône, pour perfectionner le procédé de M. Charles ou de M. Wedgwood, sont de 1814.

« Nous avons des preuves authentiques, des preuves légales, qu'en 1826, M. Niepce savait engendrer des images qui, après une certaine opération que nous ferons connaître en temps et lieu, résistaient à l'action ultérieure des rayons solaires.

« Nous avons des dessins exécutés sur diverses substances par la méthode de M. Niepce avec des perfectionnements de M. Daguerre, qui remontent à 1832.

« Nous avons, en outre, l'acte d'association du 14 décembre 1829, enregistré suivant les prescriptions de la loi, à la date du 13 mars 1830, et par lequel MM. Niepce et Daguerre s'étaient associés pour exploiter le procédé à l'invention duquel ils avaient concouru l'un et l'autre.

« Nous pourrions prouver enfin par la correspondance de M. Niepce, mort le 5 juillet 1833, que M. Daguerre était déjà du vivant de son ami en pleine possession du procédé entièrement neuf dont il se sert aujourd'hui, et que plusieurs des dessins que le public a tant admirés existaient à cette époque.

« Depuis cinq à six ans la méthode de M. Daguerre n'a guère reçu que de légères améliorations, dont un artiste éminent pouvait seul sentir la nécessité.

« M. Talbot a dû être bien mal informé de l'état des choses, puisqu'il ne parle dans sa lettre que d'une invention annoncée. M. Daguerre a fait infiniment plus qu'an-

noncer sa découverte ; il en a montré les produits à tout le monde : Français, Anglais, Allemands, Italiens, Russes, se trouvaient journellement réunis dans son cabinet, et confondaient franchement, sans réserve, les témoignages de leur admiration.

« Complétement initié à tous les détails de la nouvelle méthode, je me suis assuré, en faisant une vue du boulevart du Temple, qu'il n'est nullement nécessaire d'être peintre ou dessinateur pour réussir aussi bien que M. Daguerre lui-même. Examinée à la loupe, cette vue offrait des objets très-éloignés, tels que des tiges de paratonnerre, des images reproduites avec une incroyable netteté, et dont l'œil ne soupçonnait pas l'existence.

« Le trait par lequel la méthode *Daguerre* se distingue principalement de la méthode *Niepce*, c'est la promptitude.

« Les objets sont dessinés avant que les ombres aient eu le temps de se déplacer. Les demi-teintes, toutes les circonstances de la perspective aérienne se trouvent reproduites avec un degré de vérité et de finesse dont l'art du dessin ne semblait pas susceptible. Je ne doute pas qu'on ne parvienne à former une image exactement nuancée de la pleine Lune, si l'on adapte la plaque imprégnée de la nouvelle substance à la lunette, conduite par une horloge, d'une machine parallatique. »

A la suite de la communication précédente que je fis à l'Académie des sciences, M. Biot prit la parole pour dire qu'il avait aussi reçu de M. Talbot une lettre absolument pareille à celle transcrite plus haut ; qu'il a pensé que ce savant n'avait probablement pas une connaissance complète des circonstances à la suite desquelles la décou-

verte de M. Daguerre a reçu sa publicité actuelle; et qu'il a cru essentiel de les lui expliquer dans les termes suivants :

« Monsieur,

« Je reçois à l'instant la lettre que vous me faites l'honneur de m'écrire, pour me faire connaître l'intention où vous êtes d'adresser prochainement à l'Académie des sciences une réclamation formelle de priorité, relative à l'invention annoncée par M. Daguerre.

« Vous me rendrez sans doute la justice de croire que je ne voudrais pas hasarder d'avance une opinion préconçue sur un sujet aussi délicat. Mais je dois, dans l'intérêt de la vérité, vous prévenir, au cas où vous l'ignoreriez, que les amis de M. Daguerre savent qu'il s'est occupé constamment de cette recherche depuis plus de quatorze ans; et je puis attester qu'il m'en a parlé il y a plusieurs années. Il a même conservé et nous a montré une foule de résultats plus ou moins heureux, qu'il avait obtenus par divers procédés avant d'arriver à celui qu'il emploie maintenant, et dont les effets font l'admiration de tous nos artistes par leur perfection et leur délicatesse. Il a aussi eu la bonté de me confier une multitude de faits physiques extrêmement intéressants pour la science, que ce procédé lui a fait découvrir; et il a bien voulu, à ma prière, réaliser, par le même moyen, plusieurs expériences de recherche qui me semblent avoir une grande importance théorique. Enfin, il a communiqué son secret tout entier à M. Arago, que vous savez, aussi bien que moi, avoir un esprit trop étendu et trop généreux pour se laisser

prévenir par des préjugés de nationalité. Je m'empresse, Monsieur, de vous adresser cette déclaration, pour que vous puissiez apprécier par vous-même les faits qu'elle renferme. Je le devais autant à l'estime que m'ont inspirée vos précédents travaux sur l'optique, qu'à la confiance que vous voulez bien me témoigner.

« J'ai l'honneur d'être, etc.

« Paris, le 31 janvier 1839. »

« Au reste, a ajouté M. Biot, voici une autre preuve de publicité irrécusable et qui date de trois années. Le *Journal des artistes*, tome II, p. 203, parlant déja des inventions et des recherches de M. Daguerre, contient le passage suivant qui a été imprimé au mois de septembre 1835.

« Ces découvertes l'ont mené à une découverte analogue, plus étonnante encore s'il est possible : il a trouvé, dit-on, le moyen de recueillir, sur un plateau préparé par lui, l'image produite par la chambre noire; de manière qu'un portrait, un paysage, une vue quelconque, projetés sur ce plateau par la chambre noire ordinaire, y laisse son empreinte en clair et en ombre, et présente ainsi le plus parfait de tous les dessins. Une préparation mise par-dessus cette image, la conserve pendant un temps indéfini. »

Ce que l'article ci-dessus annonçait en 1835 de la découverte de M. Daguerre, est précisément ce qu'il a fait voir à tout Paris à la fin de 1838.

Voici, du reste, des témoignages qui prouvent que, quelques progrès qu'ait faits M. Talbot, depuis 1839, dans

l'art de la photographie, il était très-loin d'être aussi avancé à cette époque que M. Daguerre.

J'ai profité en 1839 du séjour à Paris de plusieurs savants anglais pour leur faire voir divers tableaux que M. Daguerre a exécutés d'après ses procédés photogéniques.

Ces savants, au nombre desquels je citerai MM. Herschel, Forbes, Robisson, général Brisbane, Watt, Murchison, Pentland, ont déclaré que les produits de la découverte de M. Daguerre dépassaient toutes leurs prévisions.

M. Herschel en particulier, lui qui, de l'autre côté du détroit, s'était occupé avec succès du perfectionnement des procédés recommandés par M. Talbot, s'est exprimé, sur les travaux de notre compatriote, dans les termes d'une admiration sincère. A mesure que les tableaux de M. Daguerre venaient se placer sur le chevalet, les mots : *c'est un miracle*, sortaient de la bouche de l'illustre astronome.

M. Cauchy, qui a vu aussi M. Herschel à son passage à Paris, a ajouté aux détails que je viens de donner : « M. Herschel a déclaré que les essais faits en Angleterre sont des jeux d'enfants en comparaison des procédés de M. Daguerre. M. Talbot lui-même sera bientôt de mon avis, car je vais lui écrire de venir voir ces merveilles. » Cette note a été insérée au compte-rendu de l'Académie des sciences de la séance du 27 mai 1839.

Quel est donc le véritable inventeur des méthodes dont les produits ont été si admirés? La question, en tant qu'elle concerne MM. Niepce et Daguerre, a été

réglée depuis longtemps par un acte notarié. Au besoin on trouvera, d'ailleurs, les éléments nécessaires dans la correspondance de nos deux compatriotes.

Reste la discussion dont nous venons de nous occuper et qui s'est élevée entre les physiciens de France et d'Angleterre. A ce sujet, voici un nouveau document qui nous est arrivé de Kew-Green, près de Londres.

M. Bauer, savant botaniste, a écrit au rédacteur de la *Literary Gazette* qu'il fit connaissance avec M. Niepce, à Kew, en septembre 1827. Dans le mois de décembre de la même année, M. Niepce, sur l'invitation de M. Bauer, rédigea un Mémoire relatif aux procédés qu'il avait découverts pour fixer les images de la chambre obscure et pour copier des gravures à l'aide des rayons solaires. Ce Mémoire, M. Bauer l'a fait imprimer. Il porte la date du 8 décembre 1827. Il fut présenté à la Société royale de Londres, dans ce même mois de décembre, et resta plusieurs semaines aux mains de divers membres du comité de ce corps savant. Le Mémoire était accompagné de plusieurs échantillons (sur métal) très-intéressants produits de la découverte de M. Niepce (*several very interesting speciments of the products of his discovery*). Le Mémoire ne fut pas imprimé dans les *Transactions philosophiques*, parce que l'auteur n'y avait pas décrit ses procédés.

M. Bauer possède encore plusieurs échantillons du nouvel art, que M. Niepce lui remit en 1827. Il offre de les montrer à qui serait curieux de les étudier. M. Bauer va certainement trop loin quand il ajoute, lui qui n'a rien vu de M. Daguerre, « ces spécimens sont aussi par-

faits que les produits de M. Daguerre décrits dans les gazettes françaises de 1839 ». (*Are quite as perfect as those productions of M. Daguerre, described in the french new-papers of* 1839.)

Au surplus, il ressort de la lettre, si intéressante et si loyale de M. Bauer, une preuve nouvelle et incontestable de la grande antériorité de nos compatriotes sur les physiciens anglais; car, d'après la propre déclaration de M. Talbot, ses premiers essais ne remontent qu'à 1835.

Je profite, du reste, de la circonstance, pour réclamer contre la conséquence qu'on a tirée, bien à tort suivant moi, d'une expérience dont il a été question à la Société philomatique. Un ami de M. Guérin-Varry a trouvé, assure-t-on, le moyen de fixer sur les métaux toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. On s'est hâté de conclure de là que les représentations des objets, analogues à celles de la gravure à l'aqua-tinta qu'obtient M. Daguerre, vont être incessamment remplacées et primées par de véritables peintures où les couleurs des images de la chambre noire se trouveront reproduites. Pour que cette conclusion fût légitime, il faudrait qu'on eût découvert une substance que les rayons rouges coloreraient en rouge, que les rayons jaunes coloreraient en jaune, sur laquelle les rayons bleus laisseraient une empreinte bleue, etc., etc.; or, rien de pareil n'a été annoncé. On se tromperait si, pour avoir trouvé des vernis, des enduits qui, exposés au soleil, deviendraient celui-ci rouge, celui-là jaune, un troisième vert, etc., on s'imaginait avoir fait un seul pas vers la solution du problème qu'on présentait comme résolu. Au reste, puisqu'il vient d'être question des cou-

leurs diverses fixées sur les métaux, il ne sera pas hors de propos de rappeler les admirables iris que M. Nobili savait si bien produire et dont il avait orné, par exemple, les couvercles de plusieurs tabatières.

CHAPITRE IX

PROCÉDÉ DE M. TALBOT

M. Talbot a communiqué son premier Mémoire à la Société royale de Londres, le 30 janvier 1839; ce travail intéressant a été publié en entier quelque temps après dans l'*Athenæum*. M. Talbot recevait les images de la chambre noire sur du papier imprégné d'une substance particulière; il ne disait encore ni quelle était cette substance, ni par quel procédé le papier était préparé, ni par quelle méthode, après une première exposition à la lumière, on lui enlevait sa sensibilité. D'après le Mémoire du célèbre physicien anglais, on serait porté à croire que sur ses dessins, le blanc correspond aux régions éclairées, et le noir aux parties privées de lumière; mais le contraire semble résulter d'un article de la *Literary Gazette* du 2 février, où l'on rend compte de l'exhibition de divers dessins qui a eu lieu dans les salons de l'Institution royale. Sur ce point encore, il fallait donc attendre de plus amples renseignements.

D'après le même Mémoire, M. Talbot se sert de ses procédés pour obtenir des copies exactes, des *fac-simile* de dessins, de gravures et de manuscrits. La feuille dont on désire une épreuve est pressée, les traits en dessous,

sur le papier préparé. La lumière du Soleil la traverse graduellement, excepté dans les lignes noires et opaques de la gravure, du dessin ou de l'écriture, et dès lors elle en trace une représentation exacte, mais où le noir correspond au blanc et réciproquement. En reproduisant la copie renversée, tout se retrouve dans l'ordre naturel.

Dans cette dernière application de l'action lumineuse, M Talbot éprouva encore le déplaisir d'avoir été devancé par M. Niepce. Les personnes qui ont eu des relations avec M. Charles Chevalier, opticien, peuvent se rappeler avoir vu chez lui, sur une plaque métallique, une figure du Christ transportée d'une gravure sur le métal à l'aide des rayons solaires. La planche en question avait été donnée à M. Chevalier en 1829. Ce jeune artiste a bien voulu, depuis l'annonce de la réclamation de M. Talbot, la déposer dans mes mains. Les blancs et les ombres s'y trouvent reproduits comme dans l'original, c'est-à-dire sans inversion. M. de Laguiche avait une planche du même genre qu'il tenait aussi de M. Niepce.

Je professe une profonde estime pour M. Talbot. Je n'ai discuté les titres de cet habile physicien et ceux de M. Daguerre, qu'avec la ferme volonté de rester dans les limites de la plus stricte justice. Personne, et moi moins encore que tout autre, n'a pu mettre en doute la parfaite sincérité de M. Talbot; mais lorsque, mal informé, ce savant ingénieux réclamait formellement la priorité d'invention, M. Biot et moi nous eussions manqué à notre devoir si nous n'eussions fait connaître des détails que nous tenions de la confiance de M. Daguerre et qui démontrent avec une entière évidence que la priorité,

contrairement aux prétentions du physicien anglais, appartient sur tous les points à nos deux compatriotes. Au surplus, les procédés employés en 1839 par M. Talbot, autant qu'il est possible d'en juger par le Mémoire du 30 janvier, étaient ceux que MM. Niepce et Daguerre ont essayés à l'origine et auxquels M. Daguerre a substitué la méthode, beaucoup plus parfaite, dont le public a admiré les résultats.

La photographie sur papier a fait depuis 1839 de nombreux progrès ; on sait aujourd'hui qu'en principe elle consiste à prendre deux épreuves successives de l'image de l'objet à représenter. Dans la première épreuve, dite *négative*, l'image de la chambre obscure exerce son action sur un papier rendu sensible par de l'iodure et de l'azotate d'argent ; on plonge l'épreuve dans une dissolution d'acide gallique, et l'on voit alors les clairs et les demi-teintes se traduire en noir plus ou moins foncé, tandis que les ombres restent blanches. On fixe l'épreuve par un lavage dans une dissolution d'hyposulfite de soude, comme pour les plaques daguerriennes, et on laisse sécher le papier. En recouvrant une feuille de papier sensible à l'action de la lumière par l'épreuve négative et exposant l'ensemble des deux feuilles renfermées dans un châssis à l'action de la lumière diffuse du Soleil, on obtient une épreuve *positive*, l'action de la lumière traversant les clairs et ne pouvant pénétrer à travers les noirs de l'épreuve négative ; on développe l'image et on la fixe par les mêmes moyens que nous venons d'indiquer. On conçoit qu'avec une seule épreuve négative on peut obtenir un grand nombre d'épreuves positives.

CHAPITRE X

DES AVANTAGES DE LA PHOTOGRAPHIE

A l'inspection des premiers tableaux que M. Daguerre a fait voir au public, chacun a songé à l'immense parti qu'on aurait tiré pendant l'expédition d'Égypte d'un moyen de reproduction si exact et si prompt; chaçun a été frappé de cette réflexion que si la photographie avait été connue en 1798, nous aurions aujourd'hui des images fidèles d'un bon nombre de tableaux emblématiques dont la cupidité des Arabes et le vandalisme de certains voyageurs ont privé le monde savant.

Pour copier les millions et millions d'hiéroglyphes qui couvrent, même à l'extérieur, les grands monuments de Thèbes, de Memphis, de Karnak, etc., il faudrait des vingtaines d'années et des légions de dessinateurs. Avec le daguerréotype, un seul homme pourrait mener à bonne fin cet immense travail. Munissez l'Institut d'Égypte de deux ou trois appareils de M. Daguerre, et sur plusieurs des grandes planches de l'ouvrage célèbre, fruit de notre immortelle expédition, de vastes étendues d'hiéroglyphes réels iront remplacer des hiéroglyphes fictifs ou de pure convention; et les dessins surpasseront partout en fidélité, en couleur locale, les œuvres des plus habiles peintres; et les images photographiques étant soumises dans leur formation aux règles de la géométrie, permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices.

Ces souvenirs où les savants, où les artistes, si zélés et si célèbres attachés à l'armée d'Orient, ne pourraient, sans se méprendre étrangement, trouver l'ombre d'un blâme, reporteront sans doute la pensée vers les travaux qui s'exécutent aujourd'hui dans notre propre pays, sous le contrôle de la commission des monuments historiques. D'un coup d'œil, chacun apercevra alors l'immense rôle que les procédés photographiques sont destinés à jouer dans cette grande entreprise nationale; chacun comprendra aussi que les nouveaux procédés se distingueront par l'économie, genre de mérite qui, pour le dire en passant, marche rarement dans les arts avec la perfection des produits.

Se demande-t-on, enfin, si l'art, envisagé en lui-même, doit attendre quelques progrès de l'examen, de l'étude de ces images dessinées par ce que la nature offre de plus subtil, de plus délié : par des rayons lumineux? M. Paul Delaroche va nous répondre.

Dans une note rédigée à notre prière, ce peintre célèbre déclare que les procédés de M. Daguerre portent si loin la perfection de certaines conditions essentielles de l'art, qu'ils deviendront pour les peintres, même les plus habiles, un sujet d'observations et d'études. Ce qui le frappe dans les dessins photographiques, c'est que le fini d'un « précieux inimaginable ne trouble en rien la tranquillité des masses, ne nuit en aucune manière à l'effet général ». « La correction des lignes, dit ailleurs M. Delaroche, la précision des formes est aussi complète que possible dans les dessins de M. Daguerre, et l'on y reconnaît en même temps un modelé large, énergique et

un ensemble aussi riche de ton que d'effet... Le peintre trouvera dans ce procédé un moyen prompt de faire des collections d'études qu'il ne pourrait obtenir autrement qu'avec beaucoup de temps, de peine, et d'une manière bien moins parfaite, quel que fût d'ailleurs son talent. » Après avoir combattu par d'excellents arguments les opinions de ceux qui se sont imaginé que la photographie nuirait à nos artistes et surtout à nos habiles graveurs, M. Delaroche termine sa note par cette réflexion : « En résumé, l'admirable découverte de M. Daguerre est un immense service rendu aux arts. » Nous ne commettrons pas la faute de rien ajouter à un pareil témoignage.

CHAPITRE XI

SUR LA GRANDE VULGARISATION DE L'ART PHOTOGRAPHIQUE

L'expérience n'a pas tardé à démontrer que les méthodes photographiques étaient d'une exécution assez facile, assez économique, pour devenir rapidement usuelles. Mais à l'époque où je cherchais à faire acquérir par l'État la découverte de MM. Niepce et Daguerre pour en faire jouir le domaine public, la question n'était pas oiseuse.

Voici dans quels termes j'exposai alors ma pensée :

« Sans divulguer ce qui est, ce qui doit rester secret jusqu'à l'adoption, jusqu'à la promulgation de la loi, nous pouvons dire que les tableaux sur lesquels la lumière engendre les admirables dessins de M. Daguerre, sont des tables de plaqué, c'est-à-dire des planches de cuivre

recouvertes d'une mince feuille d'argent. Il eût été sans doute préférable pour la commodité des voyageurs, et aussi sous le point de vue économique, qu'on pût se servir de papier. Le papier imprégné de chlorure ou de nitrate d'argent, fut, en effet, la première substance dont M. Daguerre fit choix ; mais le manque de sensibilité, la confusion des images, le peu de certitude des résultats, les accidents qui résultaient souvent de l'opération destinée à transformer les clairs en noirs et les noirs en clairs, ne pouvaient manquer de décourager un si habile artiste. S'il eût persisté dans cette première voie, ses dessins photographiques figureraient peut-être dans les collections, à titre de produits d'une expérience de physique curieuse; mais, assurément, la Chambre n'aurait pas à s'en occuper. Au reste, si trois ou quatre francs, prix de chacune des plaques dont M. Daguerre fait usage, paraissent un prix élevé, il est juste de dire que la même plaque peut recevoir successivement cent dessins différents.

« Le succès inouï de la méthode actuelle de M. Daguerre tient en partie à ce qu'il opère sur une couche de matière d'une minceur extrême, sur une véritable pellicule. Nous n'avons donc pas à nous occuper du prix des ingrédients qui la composent. Ce prix, par sa modicité, ne serait vraiment pas assignable.

« Le daguerréotype ne comporte pas une seule manipulation qui ne soit à la portée de tout le monde. Il ne suppose aucune connaissance du dessin, il n'exige aucune dextérité manuelle. En se conformant, de point en point, à certaines prescriptions très-simples et très-peu nombreuses, il n'est personne qui ne doive réussir aussi

certainement et aussi bien que M. Daguerre lui-même.

« La promptitude de la méthode est peut-être ce qui a le plus étonné le public. En effet, dix à douze minutes sont à peine nécessaires dans les temps sombres de l'hiver, pour prendre la vue d'un monument, d'un quartier de ville, d'un site.

« En été, par un beau soleil, ce temps peut être réduit de moitié. Dans les climats du midi, deux à trois minutes suffiront certainement. Mais, il importe de le remarquer, ces dix à douze minutes d'hiver, ces cinq à six minutes d'été, ces deux à trois minutes des régions méridionales, expriment seulement le temps pendant lequel la lame de plaqué a besoin de recevoir l'image lenticulaire. A cela, il faut ajouter le temps du déballage et de l'arrangement de la chambre noire, le temps de la préparation de la plaque, le temps que dure la petite opération destinée à rendre le tableau, une fois créé, insensible à l'action lumineuse. Toutes ces opérations réunies pourront s'élever à trente minutes ou à trois quarts d'heure. Ils se faisaient donc illusion, ceux qui naguère, au moment d'entreprendre un voyage, déclaraient vouloir profiter de tous les moments où la diligence gravirait lentement des montées, pour prendre des vues du pays. On ne s'est pas moins trompé lorsque, frappé des curieux résultats obtenus par des reports de pages, de gravures des plus anciens ouvrages, on a rêvé la reproduction, la multiplication des dessins photographiques par des reports lithographiques. Ce n'est pas seulement dans le monde moral qu'on a les défauts de ses qualités : la maxime trouve souvent son application dans les arts. C'est au poli parfait,

à l'incalculable minceur de la couche sur laquelle M. Daguerre opère, que sont dus le fini, le velouté, l'harmonie des dessins photographiques. En frottant, en tamponnant de pareils dessins, en les soumettant à l'action de la presse ou du rouleau, on les détruirait sans retour. Mais aussi, personne imagina-t-il jamais de tirailler fortement un ruban de dentelles, ou de brosser les ailes d'un papillon ? »

La nécessité de préserver de tout contact les dessins obtenus à l'aide du daguerréotype m'avait paru devoir être un obstacle sérieux à la propagation de la méthode. Aussi, pendant la discussion des Chambres, demandais-je à cor et à cri d'essayer quels seraient sur ces dessins les effets d'un vernis. M. Daguerre étant peu enclin à rien adopter qui nuise, même légèrement, aux propriétés artistiques de ses productions, j'ai adressé ma prière à M. Dumas. Ce célèbre chimiste a trouvé que les dessins provenant du daguerréotype peuvent être vernis. Il suffit de verser sur la plaque métallique une dissolution bouillante d'une partie de dextrine dans cinq parties d'eau. Si l'on trouve que ce vernis n'agit pas à la longue sur les composés mercuriels dont l'image est formée, un important problème sera résolu. En effet, le vernis disparaissant quand on plonge la plaque au milieu d'une masse d'eau bouillante, on sera toujours le maître de replacer toutes choses comme M. Daguerre le veut, et, d'autre part, pendant un voyage on n'aura pas couru le risque de gâter ses collections. M. Dumas n'a pas trouvé, au reste, que son vernis nuisît sensiblement à l'harmonie des images.

CHAPITRE XII

UTILITÉ SCIENTIFIQUE DE L'INVENTION DE M. DAGUERRE

L'académicien qui connaissait déjà depuis quelques mois les préparations sur lesquelles naissent les beaux dessins obtenus par la fixation des images de la chambre obscure, n'a pas cru devoir tirer parti alors du secret qu'il tenait de l'honorable confiance de M. Daguerre. Il a pensé qu'avant d'entrer dans la large carrière de recherches que les procédés photographiques viennent d'ouvrir aux physiciens, il était de sa délicatesse d'attendre qu'une rémunération nationale eût mis les mêmes moyens d'investigation aux mains de tous les observateurs. En parlant de l'utilité scientifique de l'invention de notre compatriote, il ne pouvait guère en 1839 procéder que par voie de conjectures. Les faits, au reste, sont clairs, palpables, et il avait peu à craindre que l'avenir le démentît. On va en juger, car nous reproduisons textuellement ici les remarques que nous avons présentées dans notre Rapport à la Chambre des députés.

« La préparation sur laquelle M. Daguerre opère est un réactif beaucoup plus sensible à l'action de la lumière que tous ceux dont on s'était servi jusqu'ici. Jamais les rayons de la Lune, nous ne disons pas à l'état naturel, mais condensés au foyer de la plus grande lentille, au foyer du plus large miroir réfléchissant, n'avaient produit d'effet physique perceptible. Les lames de plaqué préparées par M. Daguerre, blanchissent au contraire à tel

point sous l'action de ces mêmes rayons et des opérations qui lui succèdent, qu'il est permis d'espérer qu'on pourra faire des cartes photographiques de notre satellite. C'est dire qu'en quelques minutes on exécutera un des travaux les plus longs, les plus minutieux, les plus délicats de l'astronomie.

« Une branche importante des sciences d'observation et de calcul, celle qui traite de l'intensité de la lumière, la *photométrie*, a fait jusqu'ici peu de progrès. Le physicien arrive assez bien à déterminer les intensités comparatives de deux lumières voisines l'une de l'autre et qu'il aperçoit simultanément ; mais on n'a que des moyens imparfaits d'effectuer cette comparaison, quand la condition de simultanéité n'existe pas ; quand il faut opérer sur une lumière visible à présent et une lumière qui ne sera visible qu'après et lorsque la première aura disparu.

« Les lumières artificielles de comparaison auxquelles, dans les cas dont nous venons de parler, l'observateur est réduit à avoir recours, sont rarement douées de la permanence, de la fixité désirables ; rarement, et surtout quand il s'agit des astres, nos lumières artificielles ont la blancheur nécessaire. C'est pour cela qu'il y a de fort grandes différences entre les déterminations des intensités comparatives du Soleil et de la Lune, du Soleil et des étoiles, données par des savants également habiles ; c'est pour cela que les conséquences sublimes qui résultent de ces dernières comparaisons, relativement à l'humble place que notre Soleil doit occuper parmi les milliards de soleils dont le firmament est parsemé, sont encore

entourées d'une certaine réserve, même dans les ouvrages des auteurs les moins timides.

« N'hésitons pas à le dire, les réactifs découverts par M. Daguerre hâteront les progrès d'une des sciences qui honorent le plus l'esprit humain. Avec leur secours, le physicien pourra procéder désormais par voie d'intensités absolues : il comparera les lumières par leurs effets. S'il y trouve de l'utilité, le même tableau lui donnera des empreintes des rayons éblouissants du Soleil, des rayons trois cent mille fois plus faibles de la Lune, des rayons des étoiles. Ces empreintes, il les égalisera, soit en affaiblissant les plus fortes lumières, à l'aide de moyens excellents, résultat des découvertes récentes, mais dont l'indication serait ici déplacée, soit en ne laissant agir les rayons les plus brillants que pendant une seconde, par exemple, et continuant au besoin l'action des autres jusqu'à une demi-heure. Au reste, quand des observateurs appliquent un nouvel instrument à l'étude de la nature, ce qu'ils en ont espéré est toujours peu de chose relativement à la succession de découvertes dont l'instrument devient l'origine. En ce genre, c'est sur l'imprévu qu'on doit particulièrement compter[1]. Cette pensée semble-t-elle paradoxale ? Quelques citations en montreront la justesse.

1. Voici une application dont le daguerréotype sera susceptible et qui me semble très-digne d'intérêt.

L'observation a montré que le spectre solaire n'est pas continu, qu'il y existe des solutions de continuité transversales, des raies entièrement noires. Y a-t-il des solutions de continuité pareilles dans les rayons obscurs qui paraissent produire les effets photogéniques? S'il y en a, correspondent-elles aux raies noires du spectre lumineux ?

Puisque plusieurs des raies transversales du spectre sont visibles

« Des enfants attachent fortuitement deux verres lenticulaires de différents foyers aux deux bouts d'un tube. Ils créent ainsi un instrument qui grossit les objets éloignés, qui les représente comme s'ils s'étaient rapprochés. Les observateurs s'en emparent avec la seule, avec la modeste espérance de voir un peu mieux des astres connus de toute antiquité mais qu'on n'avait pu étudier jusque-là que d'une manière imparfaite. A peine, cependant, est-il tourné vers le firmament, qu'on découvre des myriades de nouveaux mondes; que, pénétrant dans la constitution des six planètes des anciens, on la trouve analogue à celle de la Terre, par des montagnes dont on mesure les hauteurs, par des atmosphères dont on suit les bouleversements, par des phénomènes de formation et de fusion de glaces polaires, analogues à ceux des pôles terrestres; par des mouvements rotatifs semblables à celui qui produit ici-bas l'intermittence des jours et des nuits. Dirigé sur Saturne, le tube des enfants du lunetier de Middlebourg y dessine un phénomène dont l'étrangeté dépasse tout ce que les imaginations les plus ardentes avaient pu rêver. Nous voulons parler de cet anneau, ou, si on l'aime mieux, de ce pont sans piles, de 71,000 lieues de diamètre, de 12,000 lieues de largeur, qui entoure de tout côté le globe de la planète,

à l'œil nu, ou quand elles se peignent sur la rétine sans amplification aucune, le problème que je viens de poser sera aisément résolu. On fera une sorte d'œil artificiel en plaçant une lentille entre le prisme et l'écran où tombera le spectre, et l'on cherchera ensuite, fût-ce même à l'aide d'une loupe, la place des raies noires de l'image photogénique par rapport aux raies noires du spectre lumineux.

sans en approcher nulle part à moins de 9,000 lieues. Quelqu'un avait-il prévu qu'appliquée à l'observation des quatre lunes de Jupiter, la lunette y ferait voir que les rayons lumineux se meuvent avec une vitesse de 77,000 lieues à la seconde ; qu'attachée aux instruments gradués, elle servirait à démontrer qu'il n'existe point d'étoiles dont la lumière nous parvienne en moins de trois ans; qu'en suivant enfin, à son aide, certaines observations, certaines analogies, on irait jusqu'à conclure avec une immense probabilité, que le rayon par lequel, dans un instant donné, nous apercevons certaines nébuleuses, en était parti depuis plusieurs millions d'années; en d'autres termes, que ces nébuleuses, à cause de la propagation successive de la lumière, seraient visibles de la Terre plusieurs millions d'années après leur anéantissement complet.

« La lunette des objets voisins, le microscope, donnerait lieu à des remarques analogues, car la nature n'est pas moins admirable, n'est pas moins variée dans sa petitesse que dans son immensité. Appliqué d'abord à l'observation de quelques insectes dont les naturalistes désiraient seulement amplifier la forme afin de la mieux reproduire par la gravure, le microscope a dévoilé ensuite et inopinément dans l'air, dans l'eau, dans tous les liquides, ces animalcules, ces infusoires, ces étranges productions où l'on peut espérer de trouver un jour les premiers germes d'une explication rationnelle des phénomènes de la vie. Dirigé récemment sur des fragments menus de diverses pierres comprises parmi les plus dures, les plus compactes dont l'écorce de notre

globe se compose, le microscope a montré aux yeux étonnés des observateurs que ces pierres ont vécu, qu'elles sont une pâte formée de milliards de milliards d'animalcules microscopiques soudés entre eux.

« On se rappellera que cette digression était destinée à détromper les personnes qui voudraient, à tort, renfermer les applications scientifiques des procédés de M. Daguerre dans le cadre actuellement prévu dont nous avons tracé le contour; eh bien, les faits justifient déjà nos espérances. Nous pourrions, par exemple, parler de quelques idées qu'on a eues sur les moyens rapides d'investigation que le topographe pourra emprunter à la photographie; mais nous irons plus droit à notre but en consignant ici une observation singulière dont M. Daguerre nous entretenait hier : suivant lui, les heures du matin et les heures du soir également éloignées du midi et correspondant dès lors à de semblables hauteurs du Soleil au-dessus de l'horizon, ne sont pas cependant également favorables à la production des images photographiques. Ainsi, dans toutes les saisons de l'année, et par des circonstances atmosphériques en apparence exactement semblables, l'image se forme un peu plus promptement à sept heures du matin, par exemple, qu'à cinq heures de l'après-midi, à huit heures qu'à quatre heures, à neuf heures qu'à trois heures. Supposons ce résultat vérifié, et le météorologiste aura un élément de plus à consigner dans ses tableaux, et aux observations anciennes de l'état du thermomètre, du baromètre, de l'hygromètre et de la diaphanéité de l'air, il devra ajouter un élément que les premiers instruments n'accusent pas,

et il faudra tenir compte d'une absorption particulière, qui peut ne pas être sans influence sur beaucoup d'autres phénomènes, sur ceux même qui sont du ressort de la physiologie et de la médecine[1]. »

1. La remarque de M. Daguerre sur la dissemblance comparative et constante des effets de la lumière solaire à des heures de la journée où l'astre est également élevé au-dessus de l'horizon, semble, il faut l'avouer, devoir apporter des difficultés de plus d'un genre dans les recherches photométriques qu'on voudra entreprendre avec le daguerréotype.

En général, à l'origine de la divulgation des procédés de M. Daguerre, on s'est montré peu disposé à admettre que le même instrument puisse servir jamais à faire des portraits. Le problème renfermait, en effet, deux conditions en apparence inconciliables. Pour que l'image naquît rapidement, c'est-à-dire pendant les quatre ou cinq minutes d'immobilité qu'on devait exiger et attendre d'une personne vivante, il fallait que la figure fût en plein soleil ; mais en plein soleil une vive lumière force la personne la plus impassible à un clignotement continuel; elle grimace ; toute l'habitude faciale se trouve changée.

M. Daguerre a reconnu, quant à l'iodure d'argent dont les plaques sont recouvertes, que les rayons qui traversent certains verres bleus y produisent la presque totalité des effets photogéniques. En plaçant un de ces verres entre la personne qui pose et le Soleil, on pouvait donc avoir une image photogénique presque aussi vite que si le verre n'existait pas, et cependant la lumière éclairante étant alors très-douce, il n'y avait plus lieu à grimace ou à clignotements trop répétés.

On n'a pas tardé, du reste, à trouver des matières plus sensibles à l'action de la lumière que l'iodure d'argent seul; après avoir ioduré une plaque argentée, on la soumet pendant quelques instants à l'action du chlore et de la vapeur de brome; il suffit ensuite de moins d'une minute, de 30 à 40 secondes, pour que l'image de la chambre obscure s'imprime sur la couche sensible.

CHAPITRE XIII

SUR LA REPRODUCTION DES COULEURS

On s'est demandé si, après avoir obtenu, avec le daguerréotype, les admirables dégradations des teintes, on n'arrivera pas à lui faire produire les couleurs, à substituer, en un mot, les tableaux aux sortes de gravures à l'aqua-tinta qu'on engendre maintenant.

Ce problème sera résolu le jour où l'on aura découvert une seule et même substance que les rayons rouges coloreront en rouge, les rayons jaunes en jaune, les rayons bleus en bleu, etc. M. Niepce signalait déjà des effets de cette nature où, suivant moi, le phénomène des anneaux colorés jouait quelque rôle. Peut-être en était-il de même du rouge et du violet que Seebeck obtenait simultanément sur le chlorure d'argent, aux deux extrémités opposées du spectre. M. Quetelet m'a communiqué une lettre dans laquelle sir John Herschel annonce que son papier sensible ayant été exposé à un spectre solaire très-vif, offrait ensuite toutes les couleurs prismatiques, le rouge excepté. Enfin M. Edmond Becquerel est parvenu à préparer les plaques daguerriennes de manière à obtenir des images dont les couleurs rappellent celles des objets, mais sans pouvoir empêcher les images de blanchir ou de s'effacer sous l'influence de la lumière diffuse.

En présence de ces faits, il serait certainement hasardé d'affirmer que les couleurs naturelles des objets ne seront jamais reproduites dans les images photogéniques.

M. Daguerre, pendant ses premières expériences de phosphorescence, ayant découvert une poudre qui émettait une lueur rouge après que la lumière rouge l'avait frappée, une autre poudre à laquelle le bleu communiquait une phosphorescence bleue, une troisième poudre qui, dans les mêmes circonstances, devenait lumineuse en vert par l'action de la lumière verte, mêla ces poudres mécaniquement, et obtint ainsi un composé unique qui devenait rouge dans le rouge, vert dans le vert et bleu dans le bleu. Peut-être, en opérant de même, en mêlant diverses résines, arrivera-t-on à engendrer un vernis où chaque lumière imprimera, non plus phosphoriquement, mais photogéniquement sa couleur.

CHAPITRE XIV

SUR LA GRAVURE PHOTOGRAPHIQUE

Peu de temps après la divulgation des procédés de M. Daguerre, plusieurs personnes songèrent à graver les images photogéniques et à les reproduire par l'impression. Je dus faire remarquer alors que M. Niepce père avait, lui aussi, transformé, à l'aide d'un mordant, les images photogénées en planches propres à donner des épreuves. Quant à M. Daguerre, quoiqu'il eût essayé depuis longtemps l'action de certains acides à l'état de liquide et à l'état de vapeur sur les images au mercure, il n'en avait rien publié, parce que les résultats lui semblaient être et devaient rester infructueux.

Voici les explications que M. Daguerre m'a adressées

à ce sujet, et que j'ai communiquées à l'Académie des sciences le 30 septembre 1839 :

« On sait que dans le procédé de M. Niepce père, avec lequel je m'étais associé, on emploie un vernis de bitume de Judée appliqué sur une planche métallique, et que, par l'effet d'un dissolvant qu'il indique, le métal est entièrement mis à nu dans les endroits où la lumière n'a pas frappé. Comme M. Niepce se servait principalement de son procédé pour la copie de gravures mises en contact avec la couche sensible, il n'est pas étonnant qu'il ait pensé à attaquer sa plaque au moyen d'un acide, puisqu'elle se trouvait découverte dans les endroits bruns, et tout à fait couverte dans les endroits clairs, conditions entièrement semblables à celles qu'exige la gravure. D'un autre côté, le travail était, aussi, convenablement dessiné pour être gravé, puisqu'il consistait dans la reproduction d'une gravure. Cependant, comme il n'était pas possible de mordre à différentes reprises sans faire intervenir l'art du graveur, et que par conséquent les tailles avaient toutes la même profondeur, le résultat n'était que très-défectueux, comme vous en pourrez juger d'après la planche que je vous soumets et l'épreuve qui en a été tirée. (Cette épreuve m'avait été donnée par M. Niepce avant notre association.) On conçoit que cette application du procédé de M. Niepce à la gravure ne pouvait pas avoir lieu pour les images obtenues dans la chambre noire, parce que dans ces dernières le vernis n'est entièrement enlevé que dans les grandes vigueurs, et que les demi-teintes n'étant produites que par le plus ou le moins d'épaisseur du vernis, il est impossible que l'acide agisse

dans le même rapport, ce que j'ai déjà dit dans une Note que j'ai ajoutée au procédé de M. Niepce. Cet inconvénient n'existe plus depuis les modifications que j'ai apportées au procédé, car j'ai substitué au bitume le résidu de l'huile essentielle de lavande, et ce résidu, dissous dans l'alcool et étendu sur une plaque de métal ou de verre, ne produit pas une couche continue, mais présente sur toute la surface une suite de petites sphérules de résine qui laissent entre elles le métal à découvert. C'est pourquoi on peut ainsi mordre la plaque au moyen d'un acide, et c'est ce que j'ai fait sur une épreuve sur verre, obtenue dans la chambre noire, au moyen de l'acide fluorique, et, pour en voir le résultat, j'ai chargé de noir les parties du verre attaquées par l'acide.

« Mais cette image était très-défectueuse, parce que l'acide ayant agi partout également, il n'y avait pas assez de dégradation dans les teintes, inconvénient qu'il est impossible d'éviter en attaquant, par une seule morsure, une planche dont le travail n'a pas été disposé pour cela. Ces détails suffisent déjà pour prouver que je me suis occupé de la gravure des images, et si je n'en ai pas parlé dans la description des modifications que j'ai apportées au procédé de M. Niepce, c'est que j'en ai jugé les résultats trop imparfaits.

« Il est bien prouvé, par la correspondance de M. Niepce, que j'ai découvert, dans le mois de mai 1831, les propriétés de la lumière sur l'iode mis en contact avec l'argent. Je n'ai découvert l'application du mercure qu'en 1835. On peut penser que, dans ces quatre années d'intervalle entre les deux découvertes, j'ai

dû faire un grand nombre d'expériences, et qu'employant toujours, pour ces expériences, des planches métalliques, il a dû souvent me venir à l'idée de fixer l'image par la gravure.

« A cette époque, je ne savais pas que l'image existe sur l'iode avant d'être apparente, et j'attendais qu'elle se fût manifestée par la coloration de l'iode. Cette image était fugace, puisqu'elle se colorait indéfiniment, et d'ailleurs les clairs et les ombres y étaient transposés. Cependant, dans cet état, les acides agissaient différemment sur les parties de l'iode non colorées par la lumière et sur celles qui étaient colorées, et j'obtenais, par leur application, une gravure extrêmement faible.

« Une expérience, faite sur une plaque sortant de la chambre noire et sur laquelle l'image était devenue apparente par la coloration de l'iode par la lumière, m'avait démontré que le gaz acide carbonique, en contact avec la plaque légèrement mouillée, avait produit, par sa combinaison avec les parties de l'iode frappées par la lumière, un composé très-blanc, et avait ainsi remis les clairs et les ombres dans leur état naturel; mais la dégradation des teintes était imparfaite. Cette expérience m'a donné plusieurs fois le même résultat.

« J'avais remarqué qu'en mettant dans une capsule du chlorate de potasse, et qu'en le chauffant avec une lampe dans un appareil à peu près semblable à celui qu'on emploie aujourd'hui pour le mercure, l'image produite, comme il est dit ci-dessus, par la coloration de l'iode par la lumière, apparaissait en clair, absolument comme l'engendre aujourd'hui la vapeur mercurielle.

« Après être arrivé à la connaissance de la propriété du mercure, l'image était loin d'être aussi complète qu'elle l'est maintenant. Je voyais avec peine sa fragilité, c'est-à-dire la facilité avec laquelle le frottement en enlevait le mercure, et je voulais parvenir à lui donner plus de fixité. Pour tâcher d'atteindre ce but, je commençai une série d'expériences à l'aide des acides. Je savais qu'il était difficile de trouver un acide qui agît sur l'argent sans affecter le mercure. Mais l'idée me vint que, dans le temps nécessaire pour que l'action de l'acide se manifestât sur l'argent dans les parties où il est à découvert, le mercure le préserverait dans celles qu'il recouvre, jusqu'à ce qu'il cédât lui-même à l'action de l'acide. J'ai effectivement obtenu ainsi plusieurs résultats avec différents acides, entre autres avec un mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique étendus d'eau, ainsi qu'avec plusieurs vapeurs acides. Mais ces résultats étaient défectueux, et toujours par la cause que j'ai signalée plus haut, c'est-à-dire par impossibilité de mordre à plusieurs reprises sans faire intervenir le talent du graveur. Je savais, du reste, que l'argent est trop tendre pour en espérer un tirage même d'un très-petit nombre d'épreuves.

« Je dois le dire ici, le but que je me proposais dans ces expériences n'était pas d'arriver à tirer des épreuves, mais bien, en remplissant de noir les parties du métal attaquées par l'acide, de donner de la vigueur aux images.

« Aujourd'hui que le procédé est arrivé à une plus grande perfection et qu'il donne une finesse de détails qui soutient l'épreuve de la loupe, je suis plus que

jamais convaincu de l'impossibilité d'arriver par la gravure sur la plaque même, à tirer des épreuves qui approchent le moins du monde de la perfection d'une image présentant le maximum d'effet que donne le procédé; car dans une épreuve obtenue dans ces conditions où la perspective aérienne est reproduite avec toute sa dégradation de teintes, les plus grandes vigueurs de l'image doivent être complétement nettes de mercure, ce qui rend impossible de reproduire ces vigueurs par la morsure, puisque cette morsure agit également et produit de larges creux qui ne peuvent retenir le noir d'impression; en gravure on évite cet inconvénient en ne produisant que des creux assez étroits pour qu'ils retiennent le noir. Pour vaincre cette difficulté, qui est évidente, il faudrait exposer longtemps au mercure l'épreuve qu'on veut graver, afin qu'il s'y attachât partout, même dans les grandes vigueurs; par ce moyen, on obtiendrait un grain sur toute la surface de la plaque; mais aussi cette épreuve ne serait pas dans les conditions voulues, car elle n'offrirait plus ni perspective aérienne, ni finesse de détails.

« Je termine en disant que je regarde comme impossible d'arriver par la gravure sur la plaque même, à un résultat semblable à celui que présente une épreuve exécutée dans toutes les conditions du procédé; mais je ne pense pas de même d'un transport du mercure sur un autre corps, ce que je regarde comme possible. Un perfectionnement qui pourrait être considéré comme tel, serait le moyen de noircir l'argent dans les vigueurs sans attaquer le mercure; on détruirait ainsi le miroitage de la plaque. Une autre amélioration non moins importante,

consistera à empêcher que le mercure, qui s'attache aux parties de l'image qui ont été trop longtemps exposées à la lumière, ne perde de son éclat ; je verrai avec le plus grand plaisir les recherches se diriger de ce côté. Quant à la conservation de l'image, cela ne présente aucune difficulté puisqu'on peut toujours placer les épreuves sous verre et les border de papier collé pour les garantir du contact des vapeurs, qui peuvent seules nuire surtout à l'argent. »

La planche et l'épreuve dont il est question dans la lettre de M. Daguerre ont été placées sous les yeux de l'Académie. On a fait circuler aussi les deux lettres originales de M. Niepce père à M. Daguerre, en date de février et juin 1827, relatives à la gravure sur des épreuves photogénées. Nous les reproduisons ici :

« Chalon-sur-Saône, février 1827.

« Monsieur,

« J'ai reçu hier votre réponse à ma lettre du 25 janvier 1826. Depuis quatre mois je ne travaille plus, la mauvaise saison s'y oppose absolument. J'ai perfectionné d'une manière sensible mes procédés pour la gravure sur métal ; mais les résultats que j'ai obtenus ne m'ayant point encore fourni d'épreuves assez correctes, je ne puis satisfaire le désir que vous me témoignez. Je dois sans doute le regretter plus pour moi que pour vous, Monsieur, puisque le mode d'application auquel vous vous livrez est tout différent, et vous promet un degré de supériorité que ne comporterait pas celui de la gravure, ce qui ne

m'empêche pas de vous souhaiter tout le succès que vous pouvez ambitionner.

« J'ai l'honneur, etc. »

« Chalon-sur-Saône, le 4 juin 1827.

« Monsieur,

« Vous recevrez, presque en même temps que ma lettre, une caisse contenant une planche d'étain, gravée d'après mes procédés héliographiques, et une épreuve de cette même planche très-défectueuse et beaucoup trop faible. Vous jugerez par là que j'ai besoin de toute votre indulgence, et que, si je me suis enfin décidé à vous adresser cet envoi, c'est uniquement pour répondre au désir que vous avez bien voulu me témoigner. Je crois, malgré cela, que ce genre d'application n'est point à dédaigner, puisque j'ai pu, quoique entièrement étranger à l'art du dessin et de la gravure, obtenir un semblable résultat. Je vous prie, Monsieur, de me dire ce que vous en pensez. Ce résultat n'est même point récent, il date du printemps dernier ; depuis lors j'ai été détourné de mes recherches par d'autres occupations. Je vais les reprendre aujourd'hui que la campagne est dans tout l'éclat de sa parure, et me livrer exclusivement à la copie des points de vue d'après nature. C'est, sans doute, ce que cet objet peut offrir de plus intéressant ; mais je ne me dissimule point non plus les difficultés qu'il présente quant au travail de la gravure. L'entreprise est donc bien au-dessus de mes forces ; aussi toute mon ambition se borne-t-elle à pouvoir démontrer, par des résultats plus ou moins satisfaisants, la possibilité d'une réussite complète, si une main habile

et exercée aux procédés de l'*aqua-tinta*, coopérait par la suite à ce travail. Vous me demanderez probablement, Monsieur, pourquoi je grave sur étain au lieu de graver sur cuivre. Je me suis bien servi également de ce dernier métal; mais pour mes premiers essais j'ai dû préférer l'étain dont je m'étais d'ailleurs procuré quelques planches destinées à mes expériences dans la chambre noire : la blancheur éclatante de ce métal le rendant bien plus propre à réfléchir l'image des objets représentés.

« Je pense, Monsieur, que vous aurez donné suite à vos premiers essais : vous étiez en trop beau chemin pour en rester là. Nous occupant du même objet, nous devons trouver un égal intérêt dans la réciprocité de nos efforts pour atteindre le but. J'apprendrai donc avec bien de la satisfaction que la nouvelle expérience que vous avez pu faire à l'aide de votre chambre obscure perfectionnée a eu un succès conforme à votre attente. Dans ce cas, Monsieur, et s'il n'y a pas d'indiscrétion de ma part, je serais aussi désireux d'en connaître le résultat que je serais flatté de pouvoir vous offrir celui des recherches du même genre qui vont m'occuper.

« Agréez, je vous prie, etc. »

Ces diverses pièces, malgré leur authenticité et leur date certaine, seraient sans valeur dans une discussion de priorité, contre la personne qui, n'en ayant pas eu connaissance, aurait la première entretenu le public de la combinaison des méthodes photogéniques et des procédés de la gravure. Sur ce point, la priorité de M. Niepce résulte d'une citation détaillée de l'article 8 du traité,

citation faite dans la séance de l'Académie où les méthodes photogéniques furent dévoilées. Dans cette citation, dont cinquante personnes se ressouviennent, j'ai averti que M. Niepce avait trouvé de l'avantage à ajouter un peu de cire à son vernis, quand il faisait une image avec l'intention de la transformer en planche à graver. J'ai dit aussi que M. Lemaître était le graveur que MM. Niepce et Daguerre s'étaient associé, pour perfectionner les planches ébauchées.

L'article suivant du traité provisoire, passé le 14 décembre 1829 entre MM. Niepce et Daguerre, prouve qu'alors encore les deux associés espéraient tirer parti des planches gravées sur des dessins photogénés :

Art. 8. « Lorsque les associés jugeront convenable de faire l'application de ladite découverte aux procédés de la gravure, c'est-à-dire de constater les avantages qui résulteraient, pour un graveur, de l'application desdits procédés qui lui procureraient par là une ébauche avancée, MM. Niepce et Daguerre s'engagent à ne choisir aucune autre personne que M. Lemaître pour faire ladite application. »

Au reste, dans le rapport que j'ai fait à la Chambre des députés le 8 juillet 1839 et qui a été imprimé trois jours après, il est question (voir plus haut, p. 470) de « la formation (par M. Niepce) à l'usage des graveurs, de planches à l'état d'ébauches avancées. » On trouve enfin ce passage de M. Niepce dans la brochure publiée par M. Daguerre :

« Le vernis employé pouvant s'appliquer indifféremment sur pierre, sur métal et sur verre, sans rien changer

à la manipulation, je ne m'arrêterai qu'au mode de manipulation sur argent plaqué et sur verre, en faisant toutefois remarquer, quant à la gravure sur cuivre, que l'on peut sans inconvénient ajouter à la composition du vernis une petite quantité de cire dissoute dans l'huile essentielle de lavande. »

M. Niepce de Saint-Victor, qui s'occupe avec succès d'ajouter de nouveaux perfectionnements au grand art à la découverte duquel son oncle, M. Niepce, a pris une si forte part, est parvenu à obtenir des gravures assez remarquables, en reportant sur acier des images photographiques et en soumettant ensuite la planche à l'action d'agents corrosifs. Ces essais permettent d'espérer que le problème de la gravure héliographique sera un jour complétement résolu.

CHAPITRE XV

CONCLUSION

Je me suis attaché, dans cette Notice, à démontrer que la photographie est une invention complétement française; je suis heureux en terminant d'ajouter que, sans nier la part considérable que M. Talbot doit revendiquer dans l'invention des procédés qui servent à donner les images sur papier, on peut cependant affirmer que les principaux perfectionnements, qu'a reçus successivement l'art découvert par MM. Niepce et Daguerre, sont dus à des Français : à M. Claudet, qui a trouvé le moyen de réduire à quelques secondes la durée d'exposition dans

la chambre obscure; à M. Fizeau, qui a découvert un agent précieux pour donner plus de ton et de fixité aux images; à M. Blanquart-Évrard, qui a su rendre rapides et simples les procédés de photographie sur papier; à M. Niepce de Saint-Victor, qui a inventé la photographie sur le verre albuminé; à M. Legray, qui a substitué le collodion à l'albumine dans cette dernière branche très-importante de l'art nouveau, etc., etc. Grâce à tant d'efforts couronnés de succès, la photographie a atteint, en peu d'années, une perfection inattendue; cet art s'est répandu dans toutes les parties du monde avec une rapidité que je n'aurais pas osé espérer à l'époque où il prenait naissance et où, selon certaines personnes, je lui prédisais cependant un trop brillant avenir.

SUR LA PHOSPHORESCENCE

La phosphorescence est la propriété que possèdent certains corps d'être lumineux dans l'obscurité, lorsqu'ils ont été placés dans certaines circonstances.

Benvenuto Cellini paraît avoir fait mention le premier de la phosphorescence des minéraux; il rapporte, dans son ouvrage, *Due trattati dell' Orificeria*, publié au commencement du XVIe siècle, avoir vu une escarboucle briller dans l'obscurité, et il ajoute qu'une pierre colorée de la même espèce fut trouvée dans un vignoble, aux environs de Rome, sa présence ayant été trahie par la lumière qu'elle répandait durant la nuit. Boyle observa, en 1663, qu'un diamant qui a été soumis à l'influence de la chaleur, du frottement, ou à une simple pression, émet ensuite une quantité de lumière égale à celle qui émane d'un ver luisant.

Homberg, Beccari, Dufay et quelques autres physiciens s'occupèrent aussi des matières phosphorescentes sans beaucoup ajouter aux notions assez vagues que l'on posséda jusqu'à la fin du XVIIIe siècle sur ces singuliers phénomènes.

Dans une Note de Pallas, qui a été insérée, en 1783, dans le tome Ier des *Mémoires de Pétersbourg*, on lit que le spath-fluor de Catherinenbourg devient lumineux à la simple chaleur de la main lorsqu'on l'y tient renfermé

une demi-minute seulement. La lueur que le cristal répand alors est blanchâtre et pâle ; à la chaleur de l'eau bouillante, cette lueur verdit; par une température plus élevée, la lumière phosphorescente passe d'un vert céladon au plus beau bleu de turquoise ; phénomènes que les fluors communs n'offrent pas.

La couleur générale du filon est un violet pâle ; on voit par-ci par-là des parties plus foncées; ailleurs on remarque des couches d'une transparence blanchâtre, tirant parfois sur le vert. Ce sont les veines verdâtres qui jouissent au plus haut degré de la vertu phosphorique, et qui passent par la chaleur au bleu le plus vif. Dans les fluors qu'on trouve à la montagne d'Ouboûkoûn, près du Selenga, et dans ceux du Breitenbrunn en Saxe, qui sont veinés de vert sur un fond violet, les veines vertes deviennent lumineuses par une chaleur médiocre, tandis que le reste n'émet aucune lueur sensible, et quelquefois n'est point phosphorique du tout.

Wedgwood, en 1792 (*Transactions philosophiques*, t. LXXXII, p. 28-270), et l'abbé Haüy, en 1801 (*Traité de minéralogie*), recherchèrent la propriété phosphorescente dans un certain nombre de minéraux ; ils mettaient cette propriété en évidence au moyen d'un fer chaud sur lequel ils jetaient le minéral après l'avoir réduit en poudre. Outre le bois pourri et quelques matières minérales, on compta, après ces recherches, une douzaine de corps phosphorescents.

La question a été soumise à une nouvelle étude, en 1819, par M. Brewster. « Dans mes expériences, dit cet illustre physicien, je ne réduisais jamais le corps en

poudre, mais j'en prenais un fragment que je jetais sur une masse épaisse de fer chaud, après l'avoir portée dans une chambre obscure. Quand la manifestation de la phosphorescence ne résultait pas immédiatement de l'emploi de cette méthode, je prenais un canon de pistolet, et après en avoir bouché la lumière, j'introduisais le minéral dans la culasse, que je plaçais ensuite sur le feu. Avant la production de la chaleur rouge, j'apercevais aisément la phosphorescence en regardant dans le canon; ce que je faisais quelquefois au travers d'une plaque de verre qui servait à garantir mon œil de l'air chaud, quelquefois au travers d'un petit télescope ajusté de manière à rendre distincte la vision des objets situés au fond du canon. D'autres fois, je n'introduisais le minéral dans le canon qu'après l'avoir tiré du feu, et lorsque la chaleur rouge était entièrement passée. »

De cette manière, M. Brewster a obtenu les résultats suivants :

Table des minéraux phosphorescents.

	Noms des minéraux.	Couleur ou aspect des minéraux.	Couleur, intensité, aspect de leur lumière.
	Spath fluor...........	rose............	verte.
	Id...............	pourpre.........	bleuâtre.
	Id...............	blanc bleuâtre...	bleue.
	Fluor compacte........	jaunâtre........	d'un beau vert.
5	Fluor arénacé.........	blanc...........	étincelle blanchâtre.
	Spath calcaire.........	jaune..........	jaune.
	Id...............	transparent.....	jaunâtre.
	Pierre à chaux du Nord.	»	»
	Id. de l'Irlande.	»	rouge jaunâtre.
	Phosphate de chaux....	rose............	jaune.
10	Arragonite...........	blanc sale.......	jaune rougeâtre.
	Carbonate de baryte...	blanchâtre......	blanc pâle.
	Harmotome...........	incolore........	jaune rougeâtre.
	Dipyre...............	blanche.........	des points lumineux.

	Noms des minéraux.	Couleur ou aspect des minéraux.	Couleur, intensité, aspect de leur lumière.
	Grammatite de Glentilt.	....	jaune.
15	*Id.* de Cornouailles.	....	bleuâtre.
	Topaze d'Aberdeenshire.	bleue...........	bleuâtre.
	Id. du Brésil.......	jaune..........	jaunâtre, lumière faible.
	Id. de la Nouvelle-Hollande....	blanche.........	bleuâtre.
	Rubellite.............	rougeâtre.......	écarlate.
20	Sulfate de chaux......	jaunâtre........	lumière faible.
	Id. de baryte......	jaune..........	lumière pâle.
	Id............	ardoise.........	lumière pâle.
	Sulfate de strontiane...	bleuâtre........	un fragment a brillé d'un éclat assez vif.
	Id. de plomb......	transparent.....	lumière faible et intermittente.
25	Anhydrite............	rougeâtre.......	lumière faible.
	Sodalite..............	d'un vert obscur.	assez brillante.
	Spath magnésien......	jaunâtre........	blanche, faible.
	Mine d'argent rouge....	rouge...	assez brillante, mais fugitive.
	Barystrontianite.......	blanche.........	faible.
30	Arséniate de plomb....	jaunâtre.......	d'un blanc éclatant.
	Sphène...............	jaune..........	d'un blanc éclatant.
	Trémolite............	blanchâtre......	jaune rougeâtre.
	Mica.................	verdâtre........	blanchâtre.
	Id. de Waygatz......	noire...........	des taches blanches.
35	*Id.*...........	brune..........	lumière assez vive.
	Sable de titane........	noire...........	de faibles taches.
	Pierre de corne........	grise...........	jaunâtre.
	Spath tabulaire de Dognatska............	blanchâtre......	jaunâtre.
	Lapis-lazuli...........	bleue..........	lumière faible.
40	Spodumène...........	verdâtre........	lumière faible.
	Titanite.....	rougeâtre.......	extrêmement faible.
	Cyanite..............	blanc jaunâtre...	bleuâtre.
	Calamine.............	brune..........	lumière faible.
	Augite..............	verte...........	assez brillante.
45	Pétalite..............	teinte rougeâtre.	bleue, très-vive.
	Asbeste rigide.........	....	assez vive.
	Datholite.............	transparente....	brillante.
	Corindon........	brune..........	brillante.
	Anastase [1]...........	obscure........	jaune rougeâtre.

1. La phosphorescence de l'anastase est entièrement différente de celle des autres minéraux ; elle apparaît subitement comme une flamme et s'évanouit en peu d'instants.

Noms des minéraux.	Couleur ou aspect des minéraux.	Couleur, intensité, aspect de leur lumière.
50 Tungstate de chaux....	blanc jaunâtre.	comme un charbon ardent.
Quartz...............	....	très-faible.
Améthyste............	(La phosphorescence de ces neuf minéraux fut observée dans le canon de pistolet.)	faible.
Obsidienne...........		assez vive, d'un bleu sale.
Mésotype d'Auvergne..		très-faible.
Actinote vitreux.......		de petites taches.
Argent rouge..........		plutôt vive que faible.
Muriate d'argent.......		bleue.
Carbonate de cuivre....	....	très-faible.
Télésie verte.........	....	bleu pâle, assez vive.

De ses recherches, M. Brewster tire, en outre, les conséquences suivantes :

« 1° La propriété d'émettre la lumière phosphorique à une certaine température est commune à un grand nombre de substances minérales ;

« 2° Les minéraux qui jouissent de cette propriété sont en général colorés, ou imparfaitement transparents ;

« 3° La couleur de la lumière phosphorique n'a pas de rapport fixe avec la couleur du minéral ;

« 4° Cette propriété peut être complétement détruite par l'application d'une chaleur intense ;

« 5° En général, la lumière n'est pas réabsorbée par les corps phosphorescents exposés à son action ;

« 6° L'existence de la lumière phosphorique que la chaleur développe n'a aucune connexion avec celle de la lumière obtenue par voie de frottement, puisque des corps dépouillés de la faculté d'émettre la première conservent toujours la puissance productive de la seconde ;

« 7° Cette lumière phosphorique a les mêmes propriétés que la lumière directe du Soleil ou de tout autre corps lumineux ;

« 8° Entre les différentes espèces de substances conte-

nues dans la table précédente, il en est un grand nombre parmi lesquelles on rencontre des échantillons qui ne sont pas phosphorescents par la chaleur; dès lors la phosphorescence ne peut plus être considérée comme un caractère essentiel des minéraux qui en sont doués. »

En examinant, sous le rapport de la polarisation, la lumière émise par les minéraux phosphorescents, on peut arriver à déterminer dans quelle proportion leurs parties intérieures concourent à la production de cette lumière. Il suffit pour cela, la surface supérieure du minéral étant plane et polie, et la ligne visuelle formant avec elle un très-petit angle, d'analyser, par les moyens connus, les rayons qui forment la lueur phosphorique, et de rechercher dans quelle proportion les rayons polarisés par réfraction existent dans la lumière totale. Il est clair qu'en admettant que la lumière émise par la surface fût nulle, cette proportion serait à peu près la même que si un faisceau de rayons solaires se polarisait en passant du cristal dans l'air avec une inclinaison égale à celle du rayon visuel. Si l'on étudie sous le même point de vue la lumière qui forme la couleur propre des corps, on arrive à des résultats curieux que nous avons mentionnés ailleurs[1].

Après la publication de la découverte de M. Daguerre sur l'action exercée par la lumière sur diverses substances chimiques, et particulièrement sur certains sels d'argent et sur la manière de fixer les images obtenues, M. Biot a fait avec M. Edmond Becquerel des expériences très-

1. Notice sur la polarisation, p. 401 et 443 de ce volume.

intéressantes sur les effets de la radiation solaire, lorsque la lumière traverse préalablement des substances diaphanes.

Plusieurs anciens physiciens avaient déjà remarqué que la lumière perd en partie la propriété d'exciter la phosphorescence dans les corps lorsqu'elle passe à travers des verres diaphanes, tels que les vitres. Ainsi, Homberg et Beccari disaient qu'il ne fallait expérimenter sur la pierre de Bologne qu'en laissant les fenêtres ouvertes.

La grande excitabilité des phosphores formés à l'aide de la calcination des coquilles d'huîtres avait aussi été remarquée. Beccari et Benjamin Wilson avaient affirmé qu'il suffit d'exposer certains corps à la lumière pendant une fraction de seconde pour qu'ils deviennent lumineux.

Nous ne savons pas si le développement du phénomène est lié à l'acte de la réflexion de la lumière par la surface de la matière phosphorescente, ou à celui de la transmission à travers ses molécules accompagnée d'absorption. Je pense que cette question pourrait être aujourd'hui résolue; il suffirait pour cela d'éclairer successivement une lame phosphorescente de diamant, à faces parallèles, par un faisceau polarisé disposé, quant au plan de polarisation et à l'angle d'incidence, de manière qu'il n'éprouvât de réflexion ni à la face d'entrée ni à la face de sortie. L'effet serait comparé, soit à celui qui résulterait, sous une égale incidence, de l'action d'un rayon neutre de même intensité, ou mieux encore à l'effet d'un rayon dont le plan de polarisation couperait rectangulairement le plan de polarisation du premier.

Il est une autre expérience à laquelle j'ai songé depuis longtemps, et d'où pourraient aussi surgir quelques données précieuses sur les causes de la phosphorescence. Cette expérience consisterait à rechercher si, dans les conditions de différences de chemins parcourus où deux rayons de lumière solaire ont perdu la propriété éclairante et aussi la propriété de décolorer le chlorure d'argent, ils conserveraient encore celle de développer la phosphorescence. A l'occasion des idées théoriques présentées par M. Biot à l'Académie des sciences, le 25 février 1839, j'ai rappelé des expériences que j'avais faites, il y a déjà un grand nombre d'années, sur les positions comparatives des bandes obscures et des bandes décolorées du chlorure d'argent, formées à travers l'air et à travers l'eau. Ces expériences avaient paru d'abord devoir conduire à quelque chose de décisif relativement aux deux théories de la lumière qui partagent encore les physiciens; mais après avoir reconnu que, sous ce point de vue, du moins, les objections ne seraient pas sans réplique, j'avais abandonné mon travail.

Je témoignai en 1839 le désir de voir reprendre cette dernière série de recherches; c'est ce que M. Edmond Becquerel a fait avec beaucoup de succès. Il est arrivé aux curieux résultats suivants :

« Pour tous les spectres chimiques résultant de la réaction des rayons solaires sur les différentes substances impressionnables, les raies sont les mêmes que celles du spectre lumineux, pourvu que l'on ne considère que les rayons de même réfrangibilité. On appelle spectre chimique l'ensemble des rayons qui agissent sur une sub-

stance sensible donnée. Généralement, les spectres chimiques s'étendent au delà de l'extrême violet jusqu'à une distance qui est quelquefois égale à la moitié de la longueur du spectre lumineux; il s'ensuit qu'il se trouve au delà des rayons lumineux une infinité de raies nouvelles qui font suite à celles que Frauenhofer avait observées.

« Quant à l'action des rayons solaires sur les corps qui deviennent lumineux sous leur influence, c'est-à-dire sur les corps phosphorescents par insolation, il a été reconnu que les spectres phosphorescents possédaient les mêmes raies que les spectres chimiques et lumineux. Les substances qui ont été employées dans ces expériences sont les sulfures de calcium et de barium (c'est-à-dire les phosphores de Canton et de Bologne), regardés comme étant les plus impressionnables. En constatant les effets, j'ai été conduit à la découverte d'autres rayons qui agissent sur ces substances uniquement pour détruire la phosphorescence produite. Si l'on fait agir, par exemple, le spectre solaire sur le sulfure de calcium, on observe un spectre phosphorogénique ayant deux maxima d'action, l'un vers l'extrême violet, l'autre au delà; l'action s'arrête dans les rayons les moins réfrangibles; à partir de la limite du bleu et de l'indigo jusque bien au delà du rouge, il se trouve un spectre de rayons dont l'effet est de détruire complétement la phosphorescence produite par l'action des autres rayons, et même d'empêcher ce sulfure d'être phosphorescent par la chaleur.

« Le sulfure de barium, soumis aux mêmes recherches, présente les mêmes résultats, si ce n'est que le spectre

des rayons phosphorogéniques n'a qu'un maximum d'action situé au delà de l'extrémité violette.

« Ces faits montrent donc que les rayons situés au delà des rayons visibles, c'est-à-dire des rayons obscurs, produisent de la lumière, puisque ces sulfures deviennent phosphorescents sous leur influence, et qu'ensuite, en faisant tomber sur eux des rayons lumineux, rouges, orangés, jaunes, verts, bleus, on détruit cette faculté, et ces corps redeviennent obscurs. »

Pour rendre hommage à la vérité, je dus réclamer en faveur de M. Seebeck, de Berlin, la découverte de la propriété singulière dont certains rayons lumineux sont doués, d'éteindre la lumière phosphorique des corps. Voici le passage dans lequel le physicien allemand a consigné ses observations :

« Le rouge jaunâtre tue les phosphores de Marggraff et de Canton ; le bleu les ranime [1].

« Les phosphores de baryte, préparés d'après la méthode connue de Marggraff, luisent d'un rouge jaunâtre; les phosphores de sulfate de strontiane répandent une lumière verte (vert de mer), quelquefois bleue; les phosphores de Canton (sulfures de chaux, coquilles d'huîtres) luisent en rouge des roses ou en violet très-pâle.

« En les exposant aux couleurs prismatiques, les phosphores luisaient fortement dans le bleu et le violet; ils devinrent même lumineux au delà du violet, où à peine on voyait encore de la couleur. Ils s'affaiblirent dans le vert, plus encore dans le jaune : ils devinrent

1. Gœthe, *Farbenlehre*, t. II, p. 703.

le plus faibles dans le rouge. Lorsque la largeur de l'ouverture par laquelle passait la lumière était réduite de six lignes à deux (de 0^{m}.013 à 0^{m}.004), les phosphores devinrent luisants dans le bleu et le violet, mais aucunement dans le rouge.

« Je plaçai dans l'ouverture un verre bleu foncé si épais, qu'à peine on distinguait encore à travers des objets fortement éclairés. Le Soleil donnant un rayon de lumière par l'ouverture, le phosphore de Bologne devint tout de suite lumineux, répandant comme d'ordinaire une lueur rougeâtre. Je remplaçai le verre bleu par un verre rouge jaunâtre si peu épais, qu'on reconnaissait à travers les objets très-facilement. Aucun de mes phosphores ne devint lumineux, quoiqu'on les exposât très-longtemps à la lumière rouge jaunâtre.

« Un phosphore fut rendu luisant à la pure lumière du Soleil. On observa le temps dans lequel il s'éteignait de lui-même : c'était dix minutes. Je le rendis de nouveau luisant à l'action du Soleil, et je le plaçai rapidement dans la lumière qui traversait un verre rouge jaunâtre. Ce phosphore s'éteignit entièrement, et dans un temps plus court qu'à l'obscurité. Après une ou deux minutes, on ne voyait aucune lueur. Plus le ciel était pur, plus le verre rouge jaunâtre éteignait avec force.

« Je confirmai ces contrastes entre le bleu et le rouge par les expériences suivantes : Je plaçai une lentille de quatre pouces (0^{m}.104) dans la lumière qui avait traversé un verre rouge jaunâtre. Le phosphore placé au foyer (c'était un phosphore qui répandait la plus vive lumière) fut éteint sur-le-champ; c'était comme un

charbon jeté dans l'eau; il n'était pas même nécessaire que le phosphore fût entièrement au foyer de la lentille. On substitua au verre rouge jaunâtre un verre bleu très-épais. Des phosphores terreux, qui ne luisaient pas, furent placés au foyer; ils devinrent sur-le-champ aussi lumineux qu'ils le deviennent à l'action directe du Soleil sans interposition de verre. »

SUR L'ACTION CALORIFIQUE

ET

L'ACTION CHIMIQUE DE LA LUMIÈRE

CHAPITRE PREMIER

DE LA CHALEUR QUI ACCOMPAGNE LES LUMIÈRES TERRESTRES

En 1679, Mariotte trouva que les rayons calorifiques émanés d'un grand feu de charbon diffèrent par leurs propriétés des rayons calorifiques du Soleil. Il résultait, en effet, des expériences qu'il rapporte, « que la lumière et la chaleur de cet astre passent avec une égale facilité à travers le verre et les autres corps transparents...; mais que la lumière du feu passe facilement à travers le verre, tandis que sa chaleur n'y passe point, ou bien n'y passe que très-peu. »

En 1726, Dufay, de l'Académie des sciences, confirma par des expériences nouvelles le fait capital découvert par Mariotte, et il établit de plus que la chaleur rayonnante qui émane d'un feu commun, traverse le verre dans d'assez fortes proportions pour enflammer diverses substances au foyer d'un miroir réfléchissant.

En 1777, Scheele, qui n'avait probablement connu ni

les expériences de Mariotte, ni celles de Dufay, annonça, dans son célèbre *Traité sur le feu*, que le verre intercepte en entier la chaleur des feux terrestres. Mais de nombreuses observations, faites depuis cette époque par une multitude de physiciens, ont toutes confirmé le résultat de Dufay.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la chaleur rayonnante émanée des corps incandescents. La chaleur qui s'échappe des corps non lumineux, et que, par cette raison, on appelle *chaleur rayonnante obscure*, a été également étudiée avec soin. L'expérience prouva bientôt qu'un thermomètre monte quand il est placé, par exemple, en face d'un matras rempli de mercure échauffé, alors même que les rayons de chaleur ne peuvent aller du matras au thermomètre qu'en traversant une lame de verre plus ou moins épaisse. Tout le monde s'accorda sur le fait : l'explication seule était différente. Les uns soutenaient qu'une partie de la chaleur obscure traversait le verre à la manière des rayons lumineux et était la principale cause de l'augmentation de température qu'on observait du côté opposé. D'autres croyaient que la lame de verre arrêtait la totalité des rayons calorifiques partis du matras, et que le rayonnement propre de la lame échauffée devenait ensuite la cause de la marche ascendante du thermomètre. Les observations de M. Maycock, vérifiées plus tard par celles de M. Brande, montrèrent l'insuffisance de cette dernière explication. Peu de temps après (août 1810), M. le professeur Prévost parvint à séparer les effets de la chaleur rayonnante immédiatement transmise de ceux qui étaient dus au réchauffement

de l'écran, d'abord en employant des écrans de verre mobiles qu'il renouvelait fréquemment et sans leur laisser le temps de se réchauffer; secondement, en employant comme écran une mince lame d'eau coulant constamment. Ces deux ingénieuses expériences prouvèrent ainsi, de la manière la plus directe, que la chaleur rayonnante obscure est susceptible de traverser des écrans diaphanes de verre et d'eau. M. de Laroche compléta ensuite (juin 1811) nos connaissances sur cette matière par la démonstration expérimentale des deux principes que je vais énoncer :

La quantité de chaleur rayonnante qui traverse immédiatement le verre est d'autant plus grande relativement à celle qui est admise dans la même direction, que la température de la source qui l'émet est plus élevée;

Les rayons calorifiques qui ont déjà traversé un écran de verre éprouvent, en traversant un second écran semblable, une déperdition proportionnellement beaucoup moins considérable que dans leur passage au travers du premier.

CHAPITRE II

ACTION CHIMIQUE DES LUMIÈRES ARTIFICIELLES

Il est un assez grand nombre de substances chimiques que l'action de la lumière modifie. Quand un mélange de chlore et d'hydrogène, par exemple, est exposé aux rayons directs du Soleil, il se forme aussitôt de l'acide muriatique ou chlorhydrique; mais ces deux mêmes gaz n'agissent pas l'un sur l'autre lorsque le bocal qui les

renferme est seulement éclairé par la lumière diffuse de l'atmosphère.

Les journaux américains ont publié en 1822, un fait qui est en contradiction directe avec cette opinion, généralement admise, que la lumière diffuse de l'atmosphère n'est pas capable de déterminer l'explosion dans un mélange de chlore et d'hydrogène. Voici les circonstances de l'expérience :

Une bouteille ordinaire à huile, bien nettoyée, renfermait du chlore. M. le professeur Silliman était occupé à y introduire aussi de l'hydrogène, lorsqu'il se produisit une forte explosion accompagnée d'un dégagement de lumière très-apparent. Les fragments de la bouteille furent lancés au plafond : le goulot seul resta dans la main de l'opérateur. « Or, non-seulement aucun rayon de lumière directe ne pouvait parvenir à la place qu'occupait M. le professeur Silliman, mais la lumière diffuse elle-même était d'une extrême faiblesse, le firmament se trouvant alors accidentellement couvert d'une épaisse couche de nuages obscurs, chargés de neige. »

M. Brande rapporte qu'ayant exposé un mélange formé de parties égales de chlore et d'hydrogène, renfermé dans une boule de verre mince, à l'action de la vive lumière émanée d'une large flamme alimentée par du gaz oléfiant, il ne trouva pas au bout de quinze minutes qu'il se fût manifesté aucun effet chimique. Un foyer très-brillant produit par la même espèce de lumière n'altéra pas non plus le moins du monde la blancheur du chlorure d'argent. M. Brande répéta ensuite les mêmes expériences par le procédé suivant : la petite boule renfer-

mant le mélange de chlore et d'hydrogène fut placée à la distance de 27 millimètres de deux pointes de charbon qu'on avait adaptées aux extrémités de deux fils métalliques ; ces fils aboutissaient l'un au pôle positif et l'autre au pôle négatif d'une pile de Volta composée de cent couples et fortement chargée. Tout le monde sait qu'en mettant les deux charbons d'un tel appareil en contact, il se produit sur-le-champ une vive lumière ; mais personne avant M. Brande n'avait remarqué que cette lumière est assez intense pour déterminer une action chimique du chlore sur l'hydrogène. Le plus souvent, dans les expériences du savant anglais, un intervalle de cinq minutes était nécessaire pour que les deux gaz se combinassent complétement. Il arriva cependant, dans deux cas, que l'apparition de la lumière électrique occasionna une explosion, comme le fait toujours la lumière directe du Soleil.

« N'ayant jamais pu, dit notre auteur, produire un semblable effet à l'aide d'une autre espèce de lumière terrestre, quelle que fût d'ailleurs son intensité, il m'est impossible de ne pas admettre que le phénomène dépend de quelque propriété particulière dont les lumières solaire et électrique jouissent exclusivement. »

Ce résultat, en le supposant appuyé de preuves démonstratives, devrait, ce me semble, être rangé au nombre des plus curieuses découvertes de la physique moderne. Mais peut-on affirmer maintenant que ces preuves existent ? Ne serait-il pas nécessaire, par exemple, de connaître bien précisément quel était, relativement à la lumière électrique, l'intensité de ces autres lumières ter-

restres qui ne produisaient aucun effet chimique? Pendant des expériences dont M. le professeur de la Rive, de Genève, voulut bien me permettre d'être témoin, j'eus l'occasion, vers 1812, de reconnaître qu'avec la pile de cet ingénieux physicien, deux charbons rendus incandescents, dans le vide, par le courant galvanique, sont, à égalité de surface, trois cents fois plus lumineux qu'une bougie.

Comme, en général, ces charbons ne brillent que dans une petite étendue, je conviens qu'il sera toujours possible, soit en donnant à un autre corps lumineux des dimensions suffisantes, soit en rapprochant convenablement ce corps du globe qui renferme le chlore et l'hydrogène, soit enfin en s'aidant d'un miroir réfléchissant concave ou d'une loupe, de réunir sur un point quelconque de la masse des deux gaz mélangés, une lumière égale à celle qu'y envoient les deux charbons électriques; mais ces précautions même ne suffiraient pas pour établir sans contestation le principe énoncé par M. Brande. J'ai reconnu, en effet, à l'aide de diverses expériences, que les actions chimiques de la lumière ne sont pas proportionnelles à son intensité; qu'un rayon isolé, par exemple, peut, en certaines circonstances, produire sur un point donné beaucoup plus d'effet qu'un faisceau de cent rayons semblables. Le seul moyen qui s'offre donc à l'esprit pour lever tous les doutes est d'essayer comparativement les effets d'un charbon rendu lumineux par l'électricité, et ceux d'un charbon de même étendue et de même intensité, mais à l'incandescence duquel l'électricité n'aurait aucune part. Un charbon brûlant au milieu du

gaz oxygène, comme dans les célèbres expériences de Lavoisier, remplirait probablement l'objet. On nous permettra, j'espère, de recommander cette recherche à l'attention des chimistes, si l'on remarque que la distinction établie par M. Brande, en la supposant fondée, nous mettrait sur la voie des causes qui déterminent l'émission de la lumière solaire.

CHAPITRE III

SÉPARATION DE LA PROPRIÉTÉ ÉCLAIRANTE, DE LA PROPRIÉTÉ CALORIFIQUE ET DE LA PROPRIÉTÉ CHIMIQUE D'UN RAYON DE LUMIÈRE

Par une expérience capitale, M. Melloni a prouvé que les rayons solaires peuvent, en conservant toutes leurs propriétés lumineuses, perdre, au contraire, toutes leurs facultés calorifiques. Cette expérience consiste à faire passer les rayons lumineux terrestres ou solaires par un système de corps diaphanes, tels que de l'eau et une espèce particulière de verre vert coloré par l'oxyde de cuivre. La lumière pure émergente de ce système contient beaucoup de jaune et possède cependant une teinte verte bleuâtre : elle ne donne aucune action calorifique sensible aux thermoscopes délicats, lors même qu'on la concentre par des lentilles de manière à la rendre tout aussi brillante que la lumière directe du Soleil.

Après la communication du travail de l'habile physicien à l'Académie des sciences, le 21 décembre 1835, je fis remarquer qu'il y a un autre point de vue sous lequel la question pourrait être envisagée. Je montrai qu'il serait

important de rechercher si les procédés employés par M. Melloni, ou si des moyens analogues ne conduiraient pas à priver aussi les rayons solaires de leurs facultés chimiques; si, en un mot, des trois propriétés que possède la lumière quand elle nous arrive du Soleil : 1° celle d'éclairer; 2° celle d'échauffer; 3° celle de détruire ou de déterminer des combinaisons chimiques, on ne pourrait pas lui enlever les deux dernières et ne lui conserver que la propriété éclairante.

Cette expérience me semble devoir conduire à des conséquences curieuses, et j'ai presque cédé à la tentation de la faire. Mais comme il était possible que M. Melloni y eût aussi pensé, quoiqu'il n'en parlât pas dans son Mémoire, il m'a semblé que je ne devais donner aucune suite à mon projet.

Les motifs que j'avais en 1835, pour ne pas devancer M. Melloni dans une recherche qui se lie si directement à ses belles découvertes, subsistent encore. Je m'abstiendrai donc de faire mention de quelques résultats auxquels je suis arrivé sur l'absorption ou l'interception des rayons chimiques. Chacun comprendra que la même réserve ne pouvait être commandée à madame de Sommerville. Je n'avais point de raison pour refuser aux intéressantes expériences d'une personne si éminemment distinguée toute la publicité des séances de l'Académie et des *Comptes-rendus*.

Madame de Sommerville a trouvé que le sel gemme, les verres blanc, bleu et violet, sont des substances qui présentent une grande perméabilité aux rayons chimiques, tandis que le verre et le mica verts placés sur un carré

de papier enduit de chlorure d'argent empêchent presque complétement l'action solaire de décomposer ce sel. Le verre rouge foncé ne laisse passer que très-peu de rayons chimiques; le grenat les laisse passer en totalité; la topaze blanche, la topaze bleue, le béryl bleu pâle, la cyanite, le spath pesant, l'améthyste, les transmettent facilement, mais le béryl jaune, la tourmaline brune ou verte les arrêtent presque totalement.

Il y a des rayons calorifiques et chimiques dissemblables entre eux et que divers corps séparent les uns des autres. M. Melloni a parfaitement étudié les facultés diverses de transmission que possèdent plusieurs corps. Il y aurait lieu aussi de rechercher si les rayons calorifiques et chimiques se réfléchissent en plus ou moins grandes proportions que les rayons lumineux. A cet effet, on pourrait employer le photomètre de Leslie, comme je l'ai indiqué en 1839 dans une séance de l'Académie des sciences (2 septembre); il n'y aurait, pour ainsi dire, aucune mesure à prendre pour résoudre la question, en adoptant certaines dispositions.

CHAPITRE IV

DE LA PUISSANCE PHOTOGÉNIQUE DES RAYONS LUMINEUX

Peu de temps après le vote de la loi qui accordait une récompense nationale à MM. Daguerre et Niepce, il se manifesta, dans une petite portion du public, des opinions, à mon avis, très-erronées, et qui, cependant, m'imposèrent le devoir de montrer que la nouvelle dé-

couverte ne devait pas être seulement considérée du point de vue artistique, et qu'elle enrichirait la physique de moyens d'investigation très-précieux. Tel fut le but d'une note qui parut dans le compte-rendu de la séance du 19 août 1839; elle était ainsi conçue :

« Voici une application dont le daguerréotype sera susceptible, et qui me semble très-digne d'intérêt :

« L'observation a montré que le spectre solaire n'est pas continu, qu'il y existe des solutions de continuité transversales, des raies entièrement noires. Y a-t-il des solutions de continuité pareilles dans les rayons obscurs qui paraissent produire les effets photogéniques?

« S'il y en a, correspondent-elles aux raies noires du spectre lumineux?

« Puisque plusieurs des raies transversales du spectre sont visibles à l'œil nu, ou quand elles se peignent sur la rétine sans amplification aucune, le problème que je viens de poser sera aisément résolu. »

Cette solution très-facile du problème que je m'étais proposé, je ne pouvais pas, en 1839, la chercher expérimentalement moi-même, l'ancienne chambre obscure de l'Observatoire ayant alors reçu une autre destination, et la nouvelle n'étant pas encore construite. Au reste, je dois supposer que mon appel fut entendu. J'ai appris, en effet, que la Société royale de Londres reçut, le 20 février 1840, un Mémoire de sir John Herschel où la question est effleurée. M. Edmond Becquerel entretint l'Académie de ce même sujet dans la séance du 13 juin 1842. M. Herschel, n'ayant pas pu disposer d'un héliostat, crut ne point devoir se prononcer positivement sur

l'existence des stries dans l'image photographique du spectre. M. Edmond Becquerel, au contraire, projeta sur sa plaque iodurée un spectre stationnaire, et vit nettement, après l'expérience, dans la région de la plaque que ce spectre occupait, des stries transversales le long desquelles la matière chimique était restée intacte, ou du moins n'avait reçu aucune modification perceptible. Il reconnut, de plus, que ces stries correspondaient exactement aux lignes sombres du spectre lumineux.

Au premier aperçu, l'expérience dont je viens de parler aurait pu sembler superflue : le résultat obtenu n'était-il pas, en effet, de vérité nécessaire? Comment attendre des actions photogéniques là où la lumière manquait entièrement?

Voici ma réponse : Il n'est nullement démontré que les modifications photogéniques des substances impressionnables résultent de l'action de la lumière solaire elle-même. Ces modifications sont peut-être engendrées par des radiations obscures mêlées à la lumière proprement dite, marchant avec elle, se réfractant comme elle. En ce cas, l'expérience prouverait, non-seulement que le spectre formé par ces rayons invisibles n'est pas continu, qu'il y existe des solutions de continuité, comme dans le spectre visible, mais encore que, dans les deux spectres superposés, ces solutions se correspondent exactement. Ce serait là un des plus curieux, un des plus étranges résultats de la physique.

Introduisons dans la discussion un élément dépendant de la vitesse de la lumière, et les conséquences de l'observation ne seront pas moins intéressantes.

Je montrai, il y a bien des années, que les rayons des étoiles vers lesquelles la Terre marche, et les rayons des étoiles dont la Terre s'éloigne, se réfractent exactement de la même quantité[1]. Un tel résultat ne peut se concilier avec la théorie de l'émission qu'à l'aide d'une addition importante à faire à cette théorie, dont la nécessité s'offrit jadis à mon esprit, et qui a été généralement bien accueillie par les physiciens. Il faut admettre que les corps lumineux émettent des rayons de toutes les vitesses, et que les seuls rayons d'une vitesse déterminée sont visibles, qu'eux seuls produisent dans l'œil la sensation de lumière. Dans la théorie de l'émission, le rouge, le jaune, le vert, le bleu, le violet solaires, sont respectivement accompagnés de rayons pareils, mais obscurs par défaut ou par excès de vitesse. A plus de vitesse correspond une moindre réfraction, comme moins de vitesse entraîne une réfraction plus grande. Ainsi, chaque rayon rouge visible est accompagné de rayons obscurs de la même nature, qui se réfractent les uns plus, les autres moins que lui : ainsi il existe des rayons dans les stries noires de la portion rouge du spectre; la même chose doit être dite des stries situées dans les portions jaunes, vertes, bleues et violettes. L'expérience ayant montré que les rayons contenus dans les stries sont sans effet sur les substances impressionnables, il se trouve établi que toute augmentation ou diminution de vitesse enlève aux rayons lumineux les propriétés photogéniques dont ils étaient primitivement doués; que les rayons solaires

1. Voir plus loin p. 548, la Notice sur la vitesse de la lumière.

cessent d'agir chimiquement à l'instant même où ils perdent, par un changement de vitesse, la faculté de produire sur la rétine les sensations lumineuses. Je n'ai pas besoin de faire ressortir tout ce qu'il y a de curieux dans un mode d'action chimique de la lumière dépendant de la vitesse des rayons.

Le lundi même où M. Edmond Becquerel présenta à l'Académie le résultat de l'expérience que j'avais proposée deux ans et dix mois auparavant, je l'invitai publiquement à la recommencer, en s'imposant des conditions nouvelles qui semblaient devoir jeter du jour sur la manière dont la vitesse modifie l'action chimique de la lumière. Je fis remarquer que les rayons solaires se mouvant de plus en plus vite, à mesure que les milieux qu'ils traversent sont plus réfringents, on arriverait à quelque résultat utile, en étudiant comparativement et simultanément l'action du spectre sur la plaque iodurée, plongée par moitié dans deux milieux très-dissemblables, dans l'eau et dans l'air, par exemple. M. Edmond Becquerel voulut bien mettre cette idée à exécution. Voici la lettre qu'il m'écrivit à la date du 25 novembre 1842 :

« Lorsque vous avez eu la complaisance de présenter à l'Académie des sciences, au mois de juin dernier, mon Mémoire sur la constitution du spectre solaire, vous avez bien voulu m'indiquer une expérience à faire dans le but de savoir si, lorsqu'une substance impressionnable à l'action des rayons solaires est plongée dans un milieu autre que l'air, le changement de vitesse des rayons solaires, au passage de l'air dans ce milieu, ne déplaçait

pas la position des raies ou des stries transversales du spectre des rayons chimiques.

« Je me suis empressé aussitôt de faire ces expériences en commençant par employer de l'eau comme nouveau milieu. Mon départ pour la campagne m'a forcé de les interrompre. Je comptais à mon retour les reprendre avant d'en faire connaître le résultat ; mais le mauvais état de la saison ne m'a pas encore permis de donner suite à mon projet ; j'ai l'honneur, néanmoins, de vous adresser le résultat de deux expériences que j'ai faites, avec la description du procédé que j'ai suivi.

« J'ai fait usage d'une petite cuve à eau en cristal, à bords bien plans, et d'une plaque préparée à la manière de M. Daguerre, que l'on peut placer verticalement dans la cuve, de manière que sa surface soit parallèle à la face antérieure de la cuve. Dans les deux expériences, la distance entre la plaque iodurée et cette face a été d'un centimètre. On introduit alors dans une chambre obscure un faisceau de rayons solaires à travers une fente étroite pratiquée dans le volet ; on réfracte ces rayons à travers un prisme de flint-glass bien pur, devant lequel se trouve placée une lentille à long foyer, de façon à obtenir un spectre solaire par projection avec toutes ses raies. Une fois ce résultat obtenu, on place devant la route du rayon réfracté la cuve à eau, de manière que le spectre se dessine bien horizontalement avec toutes ses raies sur la plaque iodurée, et de sorte que les rayons violets entrent normalement à la face antérieure de la cuve. On a eu soin, avant de commencer l'expérience, de verser dans cette cuve de l'eau jusqu'à ce que son niveau coupe

longitudinalement, en deux parties égales, l'image du spectre.

« Si, au bout d'une ou deux minutes d'action, on enlève la plaque en l'exposant à la vapeur mercurielle, on voit l'image du spectre se dessiner depuis la limite du vert et du bleu jusque bien au delà de l'extrême violet, et, comme je l'ai dit dans le Mémoire, cette image a toutes ses raies semblables à celles du spectre lumineux pour les portions de même réfrangibilité. Eh bien, on n'aperçoit aucune différence bien sensible entre l'image du spectre sur la portion de la plaque qui est restée dans l'air et celle qui s'est formée sur la portion qui a séjourné dans l'eau; les raies de ces deux portions du spectre semblent être très-bien dans le prolongement l'une de l'autre, excepté toutefois dans les portions extrêmes du spectre chimique, à droite et à gauche, où les raies de l'image qui s'est produite dans l'eau se resserrent un peu entre elles. Cela me paraît devoir être attribué à la réfraction des rayons obliques.

« Ces deux expériences tendent à montrer que la nature du milieu dans lequel est plongée la substance chimiquement impressionnable à l'action des rayons solaires, ne modifie pas l'action de ceux-ci; de sorte que l'impression du spectre solaire sur cette substance présente toujours les mêmes raies et aux mêmes places.

« Lorsque le temps le permettra, je compte reprendre ces expériences, les varier, et parvenir peut-être à des résultats plus concluants. »

Voilà donc les rayons solaires se comportant exactement de même dans l'air et dans l'eau. Dans l'air cepen-

dant, suivant le système de l'émission, la lumière se meut beaucoup moins vite que dans l'eau. La vitesse est donc ici sans influence, conséquence qui, au premier aspect, paraît en contradiction manifeste avec ce que nous avons déduit de la première expérience. Les deux résultats, toutefois, ne sont pas inconciliables. Une nouvelle hypothèse peut, ce me semble, les faire concorder. Au reste, chacun va en juger.

La vitesse avec laquelle un rayon lumineux traverse un corps donné dépend exclusivement de la réfringence de ce corps et de la vitesse d'émission du rayon, de la vitesse qu'il avait dans le vide. Le rayon qui arrive à la surface de la couche d'iode à travers l'eau possède, au point où il rencontre cette surface, une vitesse supérieure à celle qu'avait, au même point, le rayon qui se mouvait à travers l'air; mais, dans l'intérieur même de la couche, à une profondeur suffisante, les deux rayons ont exactement les mêmes vitesses. Faisons dépendre les phénomènes photogéniques, non d'une action exercée à la surface, mais d'une action naissant dans l'intérieur de la couche, et toute difficulté disparaît. Seulement, chose singulière, nous sommes amenés forcément à établir une distinction essentielle entre l'intérieur et la surface d'une couche dont l'épaisseur est d'une petitesse incroyable.

En envisageant ainsi les phénomènes photogéniques, comme des exemples d'actions moléculaires susceptibles d'évaluations précises, tout le monde sentira combien il serait intéressant d'intercaler des chiffres dans les renseignements généraux que je viens de présenter. On atteindra ce but en complétant d'abord les expériences à l'aide

desquelles M. Dumas avait commencé à déterminer l'épaisseur de la couche d'iode sur laquelle se forment les images daguerriennes, d'après les pesées comparatives d'une large plaque argentée avant et après son ioduration. On portera ensuite dans l'observation des positions relatives des raies obscures tracées sur la matière impressionnable, toute l'exactitude possible, même en s'aidant, s'il le faut, du microscope; enfin, au lieu de passer, par un saut brusque, de l'air à l'eau, on comparera les positions relatives des stries produites dans deux milieux légèrement différents en densité ou en réfringence. Dès à présent, dans le système de l'émission, les conséquences suivantes découlent rigoureusement de la discussion à laquelle je viens de me livrer :

Si les effets photogéniques de la lumière solaire résultent exclusivement de l'action de rayons obscurs mêlés aux rayons visibles, marchant comme eux et avec des vitesses du même ordre, les spectres superposés de ces deux espèces de rayons ont leurs solutions de continuité exactement aux mêmes places;

Si les rayons visibles produisent les effets photogéniques en totalité ou en partie, cette propriété est tellement inhérente à leur vitesse, qu'ils la perdent également quand cette vitesse s'accroît et quand elle diminue;

Les effets photogéniques de la lumière solaire, soit qu'ils proviennent de rayons visibles ou de rayons invisibles, ne peuvent pas être attribués à une action exercée à la surface de la couche impressionnable : c'est à l'intérieur de la matière qu'on doit chercher le foyer de ce genre d'action.

Les conclusions précédentes pourront être étendues quand on connaîtra l'épaisseur de la moindre couche d'iode dans laquelle s'engendrent les phénomènes daguerriens, quand il sera possible de comparer cette épaisseur à la longueur des accès ou à celle des ondes lumineuses.

VITESSE DE LA LUMIÈRE

A peine revenu d'Afrique, en 1809, je me livrai, fort jeune encore (j'avais vingt-trois ans), à diverses expériences relatives à l'influence de la vitesse de la lumière sur la réfraction. Le résultat de mon travail fut communiqué à la première classe de l'Institut, le 10 décembre 1810. Ce résultat, quoique très-différent de celui auquel je m'étais attendu, excita quelque intérêt. M. Laplace me fit l'honneur de le mentionner dans une des éditions de l'*Exposition du système du monde*. Notre illustre doyen, M. Biot, voulut bien aussi le citer dans la seconde édition de son *Traité élémentaire d'astronomie physique*. Je crus dès lors que je pouvais me dispenser de publier mon Mémoire.

Depuis cette époque, ce travail étant devenu le point de départ des recherches expérimentales et théoriques qui ont été faites ou projetées dans divers pays, sur l'état dans lequel se trouve l'éther dans les corps solides, j'ai été invité, à diverses reprises, à le publier ; mais le Mémoire s'étant égaré, je ne pouvais pas déférer à ce vœu. Il y a peu de jours qu'en rangeant mes papiers par ordre de matières, on y a retrouvé le Mémoire original de 1810. Je me suis rappelé alors le désir exprimé par les physiciens, et j'ai demandé à l'Académie la permission de faire pa-

raître mon Mémoire dans le *Compte-rendu* (séance du 10 janvier 1853), quoiqu'il date de quarante-deux ans. Je le reproduis ici, malgré toutes ses imperfections, sans y changer un seul mot.

La détermination de la vitesse prodigieuse avec laquelle se meut la lumière dans l'espace est, sans contredit, un des plus beaux résultats de l'astronomie moderne. Les anciens croyaient cette vitesse infinie; et leur manière de voir n'était pas, à cet égard, comme sur tant d'autres questions de physique, une simple opinion dénuée de preuves; car Aristote, en la rapportant, cite à son appui la transmission instantanée de la lumière du jour. Cette opinion fut ensuite combattue par Alhazen, dans son *Traité d'optique*, mais seulement par des raisonnements métaphysiques auxquels Porta, son commentateur, qui admettait ce qu'il appelle l'immatérialité de la lumière, opposa aussi de très-mauvais arguments. Galilée paraît être le premier, parmi les modernes, qui ait cherché à déterminer cette vitesse par expérience. Dans le premier des dialogues *delle Scienze nuove*, il fait énoncer par Salviati, un des trois interlocuteurs, les épreuves très-ingénieuses qu'il avait employées, et qu'il croyait propres à résoudre la question. Deux observateurs, avec deux lumières, avaient été placés à près d'un mille (1,650 mètres) de distance : l'un d'eux, à un instant quelconque, éteignait sa lumière ; le second couvrait la sienne aussitôt qu'il ne voyait plus l'autre. Mais, comme le premier observateur voyait disparaître la seconde lumière au même

moment qu'il cachait la sienne, Galilée en conclut que la lumière se transmet dans un instant indivisible à une distance double de celle qui séparait les deux observateurs. Des expériences analogues que firent les membres de l'Académie *del Cimento*, mais pour des distances trois fois plus considérables, conduisirent à un résultat identique.

Ces preuves semblent, au premier aspect, bien mesquines, lorsqu'on songe à la grandeur de leur objet ; mais on les juge avec moins de sévérité quand on se rappelle qu'à peu près à la même époque des hommes tels que lord Bacon, dont le mérite est si généralement apprécié, croyaient que la vitesse de la lumière pouvait, comme celle du son, être sensiblement altérée par la force et la direction du vent.

Descartes, dont le système sur la lumière a tant d'analogie avec celui qu'on désigne par le nom de système des ondulations, croyait que la lumière se transmet instantanément à toute distance ; il appuie d'ailleurs cette opinion d'une preuve tirée de l'observation des éclipses de Lune. Il faut convenir que son raisonnement, très-ingénieux, prouve, sinon que la vitesse de la lumière est infinie, du moins qu'elle est plus considérable que toutes celles qu'on pouvait se flatter de déterminer par des expériences directes faites sur la Terre à la manière de Galilée.

Les fréquentes éclipses du premier satellite de Jupiter, dont la découverte suivit de près celle des lunettes, fournirent à Rœmer la première démonstration qu'on ait eue du mouvement successif de la lumière. La connaissance encore très-imparfaite des mouvements des autres satellites, la difficulté d'observer exactement leurs éclipses, et

quelques inégalités inconnues qui, en se combinant avec celle qui dépendait du mouvement de la lumière, en masquaient les effets, les rendaient moins saillants et empêchaient, par conséquent, de la reconnaître, firent quelque temps rejeter la découverte de Rœmer ; elle ne fut même généralement admise que lorsque Bradley eut montré que ce mouvement annuel, auquel toutes les étoiles sont assujetties, et qu'on nomme l'aberration, dépend de l'effet combiné du mouvement de la lumière avec celui de l'observateur. La vitesse qu'on avait déduite de ce dernier phénomène différait un peu de celle qu'on obtenait par les éclipses du premier satellite; mais la perfection à laquelle on a porté les Tables, par les travaux de M. Laplace, a permis de revenir sur ces premiers calculs ; la constante de l'aberration, que M. Delambre a trouvée par la discussion d'un très-grand nombre d'éclipses de satellites, est absolument la même que celle que Bradley avait déduite de ses observations.

La première conséquence qu'on puisse tirer de cet accord remarquable, est que la lumière se meut uniformément, ou du moins sans aucune variation sensible, dans tout l'espace compris par l'orbe de la Terre; l'excentricité de l'orbe de Jupiter permet d'étendre ce résultat à l'immense intervalle qu'il embrasse. Il est d'ailleurs assez naturel de supposer que les étoiles de diverses grandeurs sont inégalement éloignées; et, comme leurs aberrations absolues, déduites des observations directes, sont sensiblement les mêmes, Bradley en avait conclu que le mouvement de la lumière est uniforme à toutes les distances et que l'aberration de tous les corps célestes peut

se calculer avec la même constante. Quelques astronomes n'avaient cependant pas adopté ce résultat; ils soupçonnaient que les étoiles de diverses grandeurs peuvent émettre les rayons avec différentes vitesses, et il faut convenir que cette idée, surtout dans le système de l'émission, était à la fois naturelle et probable. L'observation directe de l'aberration était peu propre à résoudre cette question d'une manière décisive, puisqu'une différence dans la vitesse de la lumière égale à 1/20e de la vitesse totale ne doit produire dans l'aberration qu'une différence de 1″, précision qu'on ne peut se flatter de surpasser, même à l'aide des meilleurs instruments; mais si l'on se rappelle que la déviation qu'éprouvent les rayons lumineux en pénétrant obliquement dans les corps diaphanes est une fonction déterminée de leur vitesse primitive, on verra que l'observation de la déviation totale à laquelle ils sont assujettis en traversant un prisme fournit une mesure naturelle de leurs vitesses. Cette méthode est d'ailleurs très-propre à rendre sensibles de légères inégalités; car, comme il est facile de le démontrer, une différence de vitesse égale à 1/20e produit dans les déviations une différence de 2′, en supposant même qu'on n'emploie qu'un prisme dont l'angle ne surpasse pas 45′. Telle est aussi la marche que j'avais suivie dans les expériences dont j'eus l'honneur de communiquer les résultats à la Classe, il y a maintenant plus de quatre ans; les rayons lumineux provenant de diverses étoiles, du Soleil, de la Lune, des planètes et des lumières terrestres, avaient subi la même déviation; les plus grandes discordances s'étaient élevées à 5″, et ce nombre, qui est

la somme des erreurs d'observation et de déclinaison, ne correspond d'ailleurs qu'à 1/480e de changement dans la vitesse et à 1/24e de seconde sur l'aberration; j'avais conclu de ces résultats que la lumière se meut avec la même vitesse, quels que soient les corps dont elle émane, ou que, du moins, s'il existe quelques différences, elles ne peuvent, en aucune manière, altérer l'exactitude des observations astronomiques.

Depuis la lecture de mon Mémoire, M. Calandreli a publié dans ses *Opuscules astronomiques*, imprimés à Rome, quelques expériences faites par cette méthode et qui l'ont conduit aux mêmes conclusions, excepté dans ce qui a rapport à la lumière solaire, à laquelle il assigne une réfraction particulière; mais je me suis assuré que ce dernier résultat, dont on ne saurait admettre l'exactitude, tient à ce que, dans l'observation des étoiles, l'astronome romain visait au centre de la lumière jaune, tandis que pour le Soleil, dont il était forcé d'observer le bord, il pointait, au contraire, à une des couleurs extrêmes du spectre : il me suffirait d'ailleurs, pour justifier, indépendamment de ces considérations, le résultat auquel j'étais parvenu, de remarquer que M. Calandreli trouve, ainsi que moi, que les taches de la Lune, que nous n'apercevons que par la lumière du Soleil réfléchie, sont précisément déviées de la même quantité que les étoiles.

On voit, au reste, que la certitude des conclusions qu'on tire à l'égard de la vitesse de la lumière, des observations faites à l'aide des prismes, repose sur celle de la supposition qu'une inégalité de vitesse produit une inégalité de déviation, ce qui résulte immédiatement de

l'explication que Newton donne de la réfraction; les expériences que j'ai citées m'avaient fait entrevoir la possibilité de démontrer ce principe, mais les travaux relatifs à la méridienne me firent abandonner cette recherche, que j'ai reprise depuis mon retour, et dont je vais aujourd'hui communiquer les résultats à la Classe.

Mes expériences étaient à peu près achevées, lorsque la lecture d'un de ses beaux Mémoires que le docteur Young a inséré dans les *Transactions philosophiques* m'apprit que M. Robisson, professeur de physique à Edinburgh, avait considéré théoriquement cette question de la vitesse de la lumière; j'ai depuis trouvé, dans divers ouvrages, qu'elle avait été examinée sous différents points de vue par Boscowich, Michell, Wilson et Blair.

Avant de parler de mes observations, je crois devoir indiquer les projets qu'avaient publiés à cet égard les physiciens que je viens de citer.

L'idée de chercher à s'assurer, par des expériences directes, de l'accroissement de vitesse qu'acquièrent les rayons lumineux en passant d'un milieu rare dans un milieu dense, a dû naturellement se présenter à un très-grand nombre de personnes; mais Boscowich est, à ma connaissance, le premier qui ait publié à cet égard un projet d'expériences raisonné. Ce physicien avait cru qu'en observant les étoiles à travers une lunette remplie d'eau, on devait trouver, à cause de l'augmentation de vitesse qu'acquièrent les rayons en pénétrant dans ce liquide, une aberration différente de celle qu'on observe lorsque l'espace qui sépare l'objectif de l'oculaire est rempli d'air. Cette même circonstance devait apporter

des changements très-sensibles dans la position des objets terrestres, qui auraient été ainsi assujettis à une aberration diurne. Il trouvait, par exemple, qu'une mire située au sud, au solstice d'hiver, aurait décrit, en vingt-quatre heures, un cercle d'un rayon égal à 5″, et dont le centre correspondrait à la position moyenne de l'objet; mais le raisonnement de Boscowich est défectueux en ce qu'il a oublié de tenir compte de la réfraction et, par conséquent, du changement de direction que doivent éprouver les rayons en pénétrant obliquement du verre dans le liquide. Aussi, M. Wilson, professeur d'astronomie à Glasgow, qui a publié dans les *Transactions philosophiques* pour l'année 1782 un Mémoire où il propose également la lunette remplie d'eau, comme un moyen de s'assurer de la théorie newtonienne, arrive-t-il à des conclusions totalement opposées à celles de Boscowich; car il a prouvé que l'aberration dans une semblable lunette ne sera égale à celle qu'on trouve avec un instrument ordinaire que dans le cas où les vitesses des rayons dans les milieux rares et diaphanes sont entre elles dans le rapport assigné par Newton. On peut d'ailleurs remarquer que la nécessité d'appliquer de forts grossissements aux instruments qui sont destinés à découvrir de petites quantités, rendait la lunette de Boscowich inutile, puisque la lumière d'une étoile serait, sinon totalement éteinte, du moins considérablement affaiblie, lorsqu'elle aurait traversé une épaisseur de liquide de 3 à 4 pieds (1^{m} à $1^{m}.30$).

La difficulté que présente, sous le rapport qui nous occupe, la vérification de la théorie newtonienne, résulte

de ce principe qui en est une conséquence, savoir que la vitesse de la lumière, dans un milieu diaphane quelconque, doit être la même, quels que soient la nature et le nombre de milieux qu'elle a précédemment traversés. On peut cependant remarquer que, lorsque les corps réfringents sont en mouvement, la réfraction qu'éprouve un rayon ne doit plus se calculer avec sa vitesse absolue, mais bien avec cette même vitesse, augmentée ou diminuée de celle du corps, c'est-à-dire avec la vitesse relative du rayon; les mouvements que nous pouvons imprimer aux corps sur la Terre étant beaucoup trop petits pour influer sensiblement sur la réfraction de la lumière, il faut chercher dans les mouvements beaucoup plus rapides des planètes des circonstances plus propres à rendre sensibles ces inégalités de réfraction. Wilson, que nous avons déjà cité, avait proposé d'employer ce mode d'expériences à la recherche du mouvement de translation du système solaire. Le docteur Blair, à qui l'on doit un travail très-intéressant sur la force dispersive des liquides, croyait que l'observation devait rendre sensible l'inégalité de vitesse avec laquelle sont réfléchis les rayons lumineux qui arrivent à nous des deux bords de Jupiter, à cause du mouvement de rotation de la planète sur elle-même; et M. Robisson, dans un Mémoire particulier où il examine en détail cette question de la vitesse de la lumière, indique également les observations des deux bords de l'anneau de Saturne.

Tels étaient les moyens que ces savants distingués avaient proposés pour résoudre un problème qui intéresse à la fois les progrès de la physique et de l'astronomie;

il résulte en outre du précis historique que nous venons de donner, qu'ils s'étaient plutôt attachés à tracer la route qu'il fallait suivre pour arriver à un résultat décisif, qu'à entreprendre des observations dont ils prévoyaient sans doute la grande difficulté. J'ai cru qu'il serait important d'employer les moyens qu'offre l'état actuel de nos connaissances et la grande précision de nos instruments, à l'examen d'une question dont le résultat semblait devoir offrir quelques données sur la véritable nature de la lumière.

Je me suis attaché, dans mes expériences, à rendre sensibles les différences qui doivent résulter du mouvement de translation de la Terre, parce que celui de notre système pouvait, en se combinant avec ce premier, donner naissance à d'assez grandes inégalités. Il est d'ailleurs naturel de supposer que, de même qu'il y a dans le ciel des étoiles de divers éclats, il y en a aussi de diverses grandeurs; et cette circonstance, comme l'a, je crois, montré le premier M. Michell, doit occasionner des différences de vitesse très-sensibles dans les rayons qui émanent de ces divers corps. Ce genre d'expériences me permettait, en outre, d'observer avec une lunette à court foyer, tandis qu'il serait indispensable d'employer un fort grossissement pour reconnaître les inégalités des diamètres planétaires. Cette méthode exigerait de plus que les prismes fussent très-parfaits, puisque les défauts d'achromatisme sont en raison directe du grossissement. Quelques essais que j'en ai déjà faits, à l'aide de l'excellent micromètre prismatique de M. Rochon, m'ont donné cependant l'espérance de réussir; je vais, en attendant, communi-

quer à la Classe les résultats de la première méthode, qui d'ailleurs, sous tous les rapports, me paraît préférable.

Lorsqu'on regarde un objet au travers d'un prisme, les inégalités de déviation auxquelles peuvent donner naissance des changements dans la vitesse des rayons lumineux doivent être d'autant plus considérables que l'angle du prisme sera lui-même plus grand ; mais lorsqu'on se sert de prismes simples ou formés d'une seule substance, il est à cet égard une limite qu'on ne peut dépasser ; car, pour peu que l'angle du prisme surpasse 4 ou 5 degrés, les bords du spectre sont diffus ; et, comme le passage d'une couleur prismatique à la voisine se fait par une dégradation insensible, on ne peut avoir la certitude de pointer, à chaque observation, à des parties des spectres correspondantes. Les prismes achromatiques, dont on peut augmenter l'angle à volonté, remplissaient beaucoup mieux l'objet que j'avais en vue.

Celui qui a servi à mes premières expériences était formé d'un prisme de crown-glass et d'un prisme de flint-glass, adossés ; la différence de leurs angles, ou l'angle du prisme total, était à peu près égale à 24 degrés.

Afin de diminuer, autant que possible, les réflexions partielles qu'éprouve toujours la lumière à la surface de séparation des milieux dont les densités sont très-différentes, j'avais fait coller mes deux prismes avec le mastic dont les opticiens font usage pour atténuer les défauts de poli des surfaces intérieures des objectifs. Le prisme total était arrêté, d'une manière inébranlable, dans une boîte dont les tourillons latéraux pouvaient tourner dans

des collets, ce qui permettait de donner à la face extérieure l'inclinaison qui rendait l'image la plus nette. Afin d'être sûr d'observer dans le plan de l'angle réfringent, on s'était également ménagé un mouvement latéral, par un mécanisme qui serait trop long à décrire ; il me suffira de dire que l'appareil total pouvait se fixer, à l'aide de fortes vis, au couvercle extérieur de la lunette du mural.

Les choses étant ainsi disposées, j'ai mesuré dans la même nuit, et à différentes époques, les distances au zénith d'un grand nombre d'étoiles ; ces distances, comparées à celles qu'on aurait observées à travers l'air, donnent la quantité de la déviation que le prisme fait éprouver aux rayons lumineux ; c'est ainsi qu'ont été formés les tableaux suivants :

Le 19 *mars* 1810 (*mural*).

Noms des étoiles.	Déviations.
Rigel	10° 4′ 24″.16
α d'Orion	25 .5
Castor	24 .6
Procyon	24 .9
Pollux	29 .3
α de l'Hydre	22 .6
Régulus	25 .2
Épi de la Vierge	21 .4
α de la Couronne	22 .8
α du Serpent	22 .3
Antarès	22 .5
ζ d'Ophiuchus	24 .0

Le 27 *mars* 1810 (*mural*).

Noms des étoiles.	Déviations.
α d'Orion	10° 4′ 33″.28
Castor	27 .93
Procyon	32 .31

Noms des étoiles.	Déviations.
Pollux	10° 4′ 32″.78
α de l'Hydre	28 .32
β du Lion	30 .21
Épi de la Vierge	26 .29
Arcturus	28 .05
α de la Couronne	31 .39
Antarès	28 .19
ζ d'Ophiuchus	29 .64
γ de la Vierge	27 .80
δ de la Vierge	27 .34
ε de la Vierge	31 .42
δ du Lion	34 .02

J'ai ensuite collé ensemble deux prismes achromatiques, semblables à celui qui avait servi à mes premières expériences; mais, afin de me rendre indépendant, dans ces nouveaux essais, de la connaissance de la déclinaison des étoiles, de celle de l'erreur de collimation qui peut varier dans nos instruments avec la hauteur de la lunette et de la réfraction, j'ai suivi dans l'observation une méthode différente de la première.

Le nouveau prisme dont je viens de parler était fixé à la lunette d'un cercle répétiteur, de manière cependant que la moitié de l'objectif fût découverte; je pouvais, par cette disposition, observer tantôt à travers l'air et tantôt à travers le prisme. La différence des deux hauteurs, corrigée du mouvement de l'étoile dans l'intervalle des deux observations, me donnait ainsi la déviation sans qu'il fût nécessaire de connaître exactement la position absolue de l'astre observé. Je pouvais, d'ailleurs, en commençant ces observations quelques minutes avant le passage des astres au méridien, les répéter un assez grand nombre de fois pour atténuer en même temps et les erreurs

de pointé et celles de division; telle est la méthode qui a servi à former le dernier tableau :

Au cercle répétiteur, 8 *octobre* 1810.

α de l'Aigle, déviation..........	22°	25′	9″
Tache de la Lune..............	22	25	9
α du Verseau..................	22	25	2
α de la Baleine................	22	25	3
Aldebaran.....................	22	25	0
Rigel.........................	22	24	59
α d'Orion.....................	22	25	2
Sirius........................	22	25	8

Je vais maintenant passer aux conséquences qui découlent de tous ces nombres.

On voit d'abord que les inégalités de déviations sont en général fort petites et du même ordre que celles que présentent les observations faites sans prisme. On peut, par cette raison, les attribuer aux erreurs d'observation; mais supposons-les réelles, pour un instant, et cherchons à quelles inégalités de vitesses elles correspondent.

Je prends pour cela la formule analytique qui exprime la déviation des rayons lumineux, en fonction des angles des prismes et de leurs forces réfringentes; je la différentie par rapport à la vitesse de la lumière qui entre dans l'expression du rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, et j'obtiens ainsi la variation de la déviation en fonction de celle de la vitesse. On trouve, par ce calcul, dont je ne puis lire les détails, que $\frac{1}{10,186}$ de variation dans la vitesse de la lumière devait produire, dans mon premier prisme, un changement de déviation égal à 6″; cette variation s'élève à près de 14″ dans le prisme

achromatique quadruple que j'ai appliqué à la lumière du cercle répétiteur. Telles seraient donc les inégalités de déviation que je devrais trouver, si les rayons émis par les diverses étoiles que j'ai observées avaient des vitesses qui différassent entre elles de $\frac{1}{10,000}$. Or, la vitesse de translation de la Terre est précisément égale à ce nombre; on sait, d'ailleurs, que son mouvement est dirigé vers les étoiles qui passent au méridien à 6 heures du matin et vers celles qui passent à 6 heures du soir, de telle sorte cependant qu'elle s'approche des premières et qu'elle s'éloigne au contraire des autres. La déviation, dans le premier cas, doit donc correspondre à la vitesse d'émission augmentée de sa $\frac{1}{10,000^{e}}$ partie, et, dans le second, à cette même vitesse diminuée de $\frac{1}{10,000}$; en sorte que les rayons d'une étoile qui passe au méridien à 6 heures du matin doivent être moins fortement déviés que ceux d'une étoile qui y passe à 6 heures du soir, d'une quantité égale à celle qu'occasionne $\frac{1}{5,000}$ de changement dans la vitesse totale, c'est-à-dire de 12″ dans les observations faites au mural, et de 28″ dans celles du cercle répétiteur; les déviations des étoiles qui passent à minuit devraient d'ailleurs être les moyennes de ces deux-là.

Or, en examinant attentivement les tableaux précédents, on trouve que les rayons de toutes les étoiles sont sujets aux mêmes déviations, sans que les légères différences qu'on y remarque suivent aucune loi.

Ce résultat semble être, au premier aspect, en contradiction manifeste avec la théorie newtonienne de la réfrac-

tion, puisqu'une inégalité réelle dans la vitesse des rayons n'occasionne cependant aucune inégalité dans les déviations qu'ils éprouvent. Il semble même qu'on ne peut en rendre raison qu'en supposant que les corps lumineux émettent des rayons avec toutes sortes de vitesses, pourvu qu'on admette également que ces rayons ne sont visibles que lorsque leurs vitesses sont comprises entre des limites déterminées. Dans cette hypothèse, en effet, la visibilité des rayons dépendra de leurs vitesses relatives, et, comme ces mêmes vitesses déterminent la quantité de la réfraction, les rayons visibles seront toujours également réfractés.

Quoique les expériences précédentes soient suffisantes pour motiver la supposition que je viens de faire, puisque sans elle on ne pourrait les expliquer, il ne sera peut-être pas inutile de montrer que plusieurs autres phénomènes semblent la rendre également nécessaire.

J'observerai d'abord que dans l'évaluation des différences auxquelles doivent donner lieu les inégalités de vitesse, je n'ai tenu compte que du mouvement de translation de la Terre, et que celui de notre système doit, en se combinant avec ce premier, être la source de nouvelles inégalités. Quelques étoiles doivent d'ailleurs se mouvoir dans l'espace avec des vitesses très-considérables, puisque, malgré la petitesse de leurs parallaxes, elles sont annuellement assujetties à des déplacements très-sensibles; la vitesse des rayons qu'elles nous envoient doit donc être la résultante de leur vitesse primitive d'émission combinée avec celle de l'étoile elle-même, et varier, par conséquent, avec la grandeur et la direction

du mouvement des astres; mais l'une des plus puissantes causes de changements dans la vitesse de la lumière paraît devoir être cependant l'inégale grandeur des diamètres des étoiles.

On trouve, en effet, par le calcul, qu'une étoile de même densité que le Soleil, et dont le diamètre serait un petit nombre de centaines de fois plus considérable que celui de cet astre, anéantirait totalement par son attraction la vitesse de ses rayons, qui n'arriveraient par conséquent pas jusqu'à nous; une étoile vingt fois plus grande que le Soleil, sans détruire complétement la vitesse des rayons qu'elle aurait émis, l'affaiblirait assez sensiblement pour qu'on dût trouver une assez grande différence entre leur réfraction et celle des rayons solaires; il suffirait même de supposer que le diamètre d'un astre fût une fois et demie plus grand que celui du Soleil, pour que la vitesse de sa lumière, à la distance qui nous en sépare, fût diminuée de sa $\frac{1}{10{,}000^e}$ partie, et donnât, par conséquent, naissance à des inégalités de déviation qui, dans le second de mes prismes, s'élèveraient à 15″. Or il paraît peu naturel de supposer que Sirius, la Lyre, Arcturus et quelques autres étoiles qui brillent d'un vif éclat malgré leur prodigieuse distance, ne sont pas égales au Soleil. Quoi qu'il en soit, on voit qu'à moins d'admettre comme je l'ai fait, que dans l'infinité des rayons de toutes les vitesses qui émanent d'un corps lumineux, il n'y a que ceux d'une vitesse déterminée qui soient visibles, on ne pourrait expliquer mes expériences qu'en diminuant outre mesure la densité des étoiles ou leurs diamètres; on arriverait, par exemple, à ce résultat singulier, que

dans le nombre infini d'étoiles dont la voûte céleste est parsemée, il n'y en a pas une seule de même densité que la Terre, et dont le volume égale en même temps celui du Soleil.

Il ne sera peut-être pas inutile de noter que les observations dont je viens de rendre compte et la supposition qui les explique se lient d'une manière très-remarquable aux expériences de Herschel, Wollaston et Ritter. Le premier a trouvé, comme on sait, qu'il y a en dehors du spectre prismatique et du côté du rouge, des rayons invisibles, mais qui possèdent à un plus haut degré que les rayons lumineux la propriété d'échauffer; les deux autres physiciens ont reconnu, à peu près dans le même temps, que du côté du violet il y a des rayons invisibles et sans chaleur, mais dont l'action chimique sur le muriate d'argent et sur plusieurs autres substances est très-sensible. Ces derniers rayons ne forment-ils pas la classe de ceux auxquels il ne manque qu'une petite augmentation de vitesse pour devenir visibles, et les rayons calorifiques ne seraient-ils pas ceux qu'une trop grande vitesse a déjà privés de la propriété d'éclairer? Cette supposition, quelque probable qu'elle puisse d'abord paraître, n'est pas rigoureusement établie par mes expériences, dont il est seulement permis de conclure que les rayons invisibles par excès et par défaut de vitesse, occupent respectivement sur le spectre la même place que les rayons calorifiques et chimiques. Il est, d'ailleurs, très-remarquable qu'on eût pu ainsi, et par des observations purement astronomiques, arriver à la connaissance des rayons invisibles et extérieurs au spectre, dont les célèbres

physiciens que nous avons cités n'ont reconnu l'existence qu'à l'aide d'expériences délicates faites à l'aide de thermomètres très-sensibles et de substances dont la couleur est altérée par l'action de la lumière.

Je n'ai pas comparé, dans ce qui précède, mes expériences au système des ondulations, parce que l'explication qu'on donne de la réfraction repose dans ce système sur une simple hypothèse qu'il est très-difficile de soumettre au calcul, et qu'il m'était, par suite, impossible de déterminer d'une manière précise si la vitesse du corps réfringent doit avoir quelque influence sur la réfraction, et, dans ce cas, quels changements elle doit y apporter.

Je me suis uniquement attaché à montrer qu'en supposant que les rayons lumineux ne sont visibles que lorsque leurs vitesses sont comprises entre des limites déterminées, mes expériences peuvent se concilier parfaitement avec la théorie newtonienne. Mais si les limites qui déterminent la visibilité des rayons sont, comme il est probable, les mêmes pour divers individus, l'inégale densité des humeurs vitrées doit faire apercevoir des rayons inégalement rapides; il résulterait de là que deux personnes, regardant une même étoile dans le même prisme et dans des circonstances analogues, pourraient la voir inégalement déviée. Le résultat de cette expérience, quel qu'il puisse être, paraît devoir fournir quelques données sur le genre de sensation qui nous fait apercevoir les objets. Il m'a semblé que le seul moyen de rendre ces essais bien décisifs était d'y employer des prismes croisés, car les observations peuvent se faire alors avec beaucoup de pré-

cision, quelle que soit la grandeur de l'angle réfringent. J'attendrai donc pour communiquer à la Classe les expériences que j'ai faites sous ce rapport, que le temps m'ait permis d'ajouter les résultats de cette méthode à ceux que j'ai déjà obtenus à l'aide des prismes achromatiques; pour le moment, je me contenterai de remarquer que je puis tirer de ce qui précède plusieurs conséquences astronomiques assez importantes.

On voit : 1° que les aberrations de tous les corps célestes, soit qu'ils nous envoient une lumière propre ou une lumière réfléchie, doivent se calculer avec la même constante, sans qu'il y ait, à cet égard, la plus légère différence, ainsi que je l'avais déduit de mes premières expériences;

2° Que les phénomènes qu'on a expliqués par une inégalité dans la vitesse de la lumière, tels que l'apparence des étoiles sur le disque de la Lune quelques secondes avant l'instant de l'immersion, les déplacements dans les petites étoiles qui sont très-voisines des grandes, etc., ne peuvent dépendre de cette cause;

3° Que l'hypothèse à l'aide de laquelle Piazzi a cherché à expliquer les différences qu'on trouve entre l'obliquité de l'écliptique déduite des observations faites aux deux solstices, est totalement contraire aux expériences, puisqu'elle revient à supposer que la lumière solaire ne se réfracte pas comme celle des étoiles;

4° Enfin que le pouvoir réfringent de l'air que nous avons déduit, M. Biot et moi, de l'observation d'un objet terrestre, doit être absolument égal à celui qu'on aurait trouvé si, dans nos expériences, il avait été possible de

viser à une étoile. Il était d'autant plus important de faire disparaître le doute qu'on aurait pu élever à cet égard, que ce pouvoir réfringent est, comme on sait, l'élément principal de la table des réfractions.

SUR

LES THÉORIES DE L'ÉMISSION

ET DES ONDES

CHAPITRE PREMIER

AVANT-PROPOS

Je me propose de montrer dans cette Notice comment il est possible de décider, sans équivoque, si la lumière se compose de petites particules émanant des corps rayonnants, ainsi que le voulait Newton, ainsi que l'ont admis la plupart des géomètres modernes ; ou bien si elle est simplement le résultat des ondulations d'un milieu très-rare et très-élastique, que les physiciens sont convenus d'appeler éther. Le système d'expériences que je vais décrire ne permettra plus, ce me semble, d'hésiter entre les deux théories rivales. Il tranchera mathématiquement (j'emploie à dessein cette expression), il tranchera mathématiquement une des questions les plus grandes et les plus débattues de la philosophie naturelle.

Au reste, cette Notice est l'accomplissement d'une sorte d'engagement que je pris envers l'Académie des sciences dans un des comités secrets de 1838, où l'on discutait les titres des candidats présentés par la section de physique

pour remplir une place de correspondant vacante dans son sein.

Je venais d'exposer l'admirable méthode à l'aide de laquelle M. Wheatstone a abordé le problème de la vitesse de l'électricité dans les conducteurs métalliques ; je terminais à peine l'énumération des importants résultats que cet ingénieux physicien a obtenus, lorsque plusieurs de nos confrères, dont le nom peut faire autorité en pareille matière, prétendirent que mon rapport était beaucoup trop approbatif. En la supposant bien constatée, la limite inférieure assignée par M. Wheatstone à la vitesse de l'électricité n'aurait, disait-on, aucune influence notable sur les progrès des sciences; d'ailleurs, des limites de même ordre et même plus étendues pourraient être déduites indirectement de divers phénomènes électriques ou magnétiques. Quant à la méthode des miroirs rotatifs, elle ne semblait susceptible d'être appliquée qu'aux seules questions déjà étudiées par l'inventeur. J'essayai de réfuter cette dernière opinion. Je crois, moi, que le nouvel instrument, convenablement modifié, conduirait à des résultats dont M. Wheatstone ne s'était pas avisé ; j'avais déjà entrevu que, même en le supposant renfermé dans les bornes étroites d'un petit appartement, il pourrait servir à mesurer les vitesses comparatives de la lumière se mouvant à travers l'air ou à travers un liquide. Je ne tardai pas à apprendre, sans que j'eusse presque le droit de m'en étonner ou de m'en plaindre, que mon assertion n'avait rencontré que des incrédules. Je l'ai, je pense, justifiée dans toutes ses parties dans cette Notice, que je reproduis ici textuellement en y ajoutant seulement quelques

autres communications faites postérieurement à l'Académie des sciences sur le même sujet.

CHAPITRE II

PRINCIPE DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE QUI DOIT DÉCIDER ENTRE LA THÉORIE DE L'ÉMISSION ET CELLE DES ONDES

Faisons tomber un rayon lumineux sur un miroir plan poli ; il se réfléchira, comme tout le monde sait, en formant avec la surface du miroir un angle de réflexion exactement égal à l'angle d'incidence.

Imaginons maintenant que le miroir vienne à tourner de la quantité a autour du point de sa surface où la réflexion s'est opérée ; si ce mouvement, par exemple, augmente de la quantité a l'ancien angle d'incidence, il diminuera d'autant l'ancien angle de réflexion. Celui-ci, après le déplacement du miroir, sera donc plus petit que le premier de la quantité $2a$; ainsi, il faudra l'augmenter de $2a$ pour le rendre égal au nouvel angle d'incidence ; ainsi, cet angle augmenté de $2a$ donnera la direction du rayon réfléchi dans la seconde position du miroir ; ainsi, le rayon incident restant le même, un mouvement angulaire a du miroir occasionne un mouvement angulaire double dans le rayon réfléchi.

Ce mode de raisonnement s'appliquerait tout aussi bien au cas où le mouvement du miroir, s'étant opéré en sens contraire, aurait diminué le premier angle d'incidence. Le principe est donc général ; c'est, au reste, celui de tous les instruments nautiques à réflexion.

La réflexion sur des miroirs plans peut servir à jeter des rayons lumineux donnés dans toutes les régions de l'espace, sans cependant altérer leurs positions relatives : deux rayons qui étaient parallèles entre eux avant de se réfléchir sont encore parallèles après leur réflexion ; ceux qui primitivement étaient inclinés l'un sur l'autre de 1′, de 10′, de 20′, etc., etc., forment précisément les mêmes angles après que la réflexion les a déviés.

Au lieu d'un seul rayon prenons-en maintenant deux horizontaux partant de deux points voisins situés dans la même verticale. Admettons que leur direction les amène sur deux points de la ligne médiane (également verticale) d'un miroir plan vertical ; supposons que ce miroir tourne sur lui-même, uniformément et d'une manière continue, autour d'un axe vertical dont le prolongement coïncide avec la ligne médiane qui vient d'être mentionnée.

La direction suivant laquelle les deux rayons horizontaux se réfléchiront, dépendra évidemment du moment où ils atteindront le miroir, puisque nous avons supposé qu'il tourne. Si les deux rayons sont partis simultanément des deux points rayonnants contigus, ils arriveront aussi simultanément au miroir; leur réflexion s'opérera au même instant, conséquemment comme si cette surface quant à eux était immobile : leur parallélisme primitif ne s'en trouvera donc pas altéré.

Pour que les rayons, qui primitivement étaient parallèles, divergeassent après leur réflexion, il faudrait que l'un d'eux arrivât au miroir plus tôt que l'autre; il faudrait que, dans son trajet du point rayonnant à la surface réfléchissante et tournante, la marche de ce rayon fût

accélérée, ou bien, car le résultat serait précisément le même, il faudrait, la vitesse du premier rayon restant constante, que celle du second éprouvât une diminution; il faudrait enfin que les deux rayons vinssent se réfléchir l'un après l'autre, et dès lors sur deux positions distinctes du miroir, formant entre elles un angle sensible.

Suivant la théorie de l'émission, la lumière se meut dans l'eau notablement plus vite que dans l'air. Suivant la théorie des ondes, c'est précisément le contraire : la lumière marche plus vite dans l'air que dans l'eau. Faisons en sorte qu'avant d'arriver au miroir, un des deux rayons, le rayon supérieur, par exemple, ait à traverser un tube rempli d'eau. Si la théorie de l'émission est vraie, ce rayon supérieur sera accéléré dans sa marche; il arrivera au miroir le premier, il se réfléchira avant le rayon inférieur, il formera avec lui un certain angle, et le sens de la déviation sera tel que le rayon inférieur paraîtra plus avancé que l'autre, qu'il semblera avoir été entraîné plus vite par le miroir tournant.

Tout restant égal, admettons un moment la vérité du système des ondes. Le tube d'eau retardera alors la marche du rayon supérieur; ce rayon arrivera au miroir réfléchissant après le rayon inférieur; il se réfléchira, non plus le premier, comme tout à l'heure, mais le second; mais sur une position de la face polie réfléchissante plus avancée que celle d'où le rayon inférieur s'était réfléchi un instant plus tôt; ces deux rayons formeront entre eux le même angle que dans l'autre hypothèse; seulement, et l'on doit bien le remarquer, la déviation aura lieu précisément en sens inverse; le rayon

supérieur sera maintenant le plus avancé, toujours dans le sens de la rotation du miroir.

En résumé, deux points rayonnants placés l'un près de l'autre et sur la même verticale, brillent instantanément[1] en face d'un miroir tournant. Les rayons du point supérieur ne peuvent arriver à ce miroir qu'en traversant un tube rempli d'eau; les rayons du second point atteignent la surface réfléchissante sans avoir rencontré dans leur course aucun autre milieu que l'air. Pour fixer les idées, nous supposerons que le miroir, vu de la place

1. Une instantanéité presque mathématique de la lumière qui doit être placée en face du miroir tournant fût-elle nécessaire, comme on a paru le croire, à la réussite de l'expérience projetée, que cette expérience pourrait encore s'exécuter. M. Wheatstone a prouvé, en effet, que la lumière de l'étincelle électrique qui s'élance d'un conducteur fortement chargé ne dure pas un millionième de seconde. Au surplus, d'aussi courtes apparitions ne seront nullement indispensables. Pourvu que la lumière n'ait pas une durée égale au temps que le miroir emploie à faire un tour sur lui-même; en d'autres termes, pourvu que les images aperçues sur le miroir tournant soient simples; pourvu qu'elles ne résultent pas, à raison de la durée de la sensation oculaire, d'une sorte de superposition de plusieurs images successives, l'observation des déviations relatives des rayons supérieur et inférieur sera facile; or personne ne doutera de la possibilité de produire avec des diaphragmes tournants des lignes lumineuses ou de simples points rayonnants qui, vus du miroir réfléchissant, dureront moins d'un millième de seconde.

On ne s'est pas moins trompé en supposant que l'objet lumineux observé doit avoir ses dimensions transversales presque infiniment petites. Admettons, si l'on veut, que cet objet soit terminé par deux vives arêtes verticales; malgré l'élargissement du diamètre horizontal de l'image, qui est inévitablement lié à la durée de l'apparition de l'objet, l'une de ces lignes terminales sera nette et offrira pour la mesure des déviations un terme de comparaison, un repère tout aussi exact que si elle était isolée.

que l'observateur occupe, tourne de droite à gauche. Eh bien, si la théorie de l'émission est vraie, si la lumière est une matière, le point le plus élevé semblera à gauche du point inférieur. Il paraîtra à la droite de ce point inférieur, au contraire, si la lumière résulte des vibrations d'un milieu éthéré.

Au lieu de deux seuls points rayonnants isolés, supposons qu'on présente instantanément au miroir une ligne lumineuse verticale. L'image de la partie supérieure de cette ligne se formera par des rayons qui auront traversé l'eau; l'image de la partie inférieure résultera de rayons dont toute la course se sera opérée dans l'air. Sur le miroir tournant, l'image de la ligne unique semblera brisée; elle se composera de deux lignes lumineuses verticales, de deux lignes qui ne seront pas sur le prolongement l'une de l'autre.

L'image rectiligne supérieure est-elle moins avancée que celle d'en bas; paraît-elle à sa gauche, — la lumière est un corps.

Le contraire a-t-il lieu; l'image supérieure se montre-t-elle à droite, — la lumière est une ondulation.

Tout ce qui précède est théoriquement, ou plutôt spéculativement, exact. Maintenant, et c'est ici le point délicat, il reste à prouver que, malgré la prodigieuse rapidité de la lumière, que malgré une vitesse de 77,000 lieues par seconde, que malgré la petite longueur que nous serons forcés de donner aux tubes remplis de liquide, que malgré les vitesses de rotation bornées qu'auront les miroirs, les déviations comparatives des deux images (vers la droite ou vers la gauche) dont

j'ai démontré l'existence, deviendront perceptibles dans nos instruments.

CHAPITRE III

QUELLE VITESSE DE ROTATION PEUT-ON DONNER A UN MIROIR?

J'admettrai que le miroir fait sur lui-même 1,000 tours par seconde.

1,000 tours par seconde pourront paraître un nombre considérable; mais il n'y a pas à disputer là-dessus: cette vitesse a été réalisée et dépassée. Le miroir dont se servait M. Wheatstone faisait déjà 800 tours par seconde.

S'il y a des limites aux vitesses de rotation dont peut être animé un très-petit miroir, un miroir de 3 à 4 centimètres de large, c'est à cause de l'échauffement des tourillons et de leur prompte détérioration. Notre ingénieux confrère, M. Gambey, à qui je soumettais le problème, m'a d'un seul mot montré qu'il serait possible de vaincre toutes les difficultés; qu'on pourrait aller bien au delà des vitesses qui jusqu'ici n'ont pas été dépassées; qu'on arriverait à les doubler, à les tripler, à les quadrupler même, si c'était nécessaire, sans avoir rien à craindre de l'échauffement ou de la détérioration des axes. Pour obtenir une vitesse double, une vitesse de 2,000 tours par seconde, il suffirait de faire reposer l'appareil rotatif actuel sur un tourillon doué lui-même d'une vitesse de 1,000 tours. En superposant dans les mêmes conditions trois ou quatre axes tournant dans une direc-

tion commune, on arriverait à des vitesses de rotation absolues de 3,000 et de 4,000 tours par seconde, sans que les vitesses relatives des pièces en contact surpassassent celle de 1,000 tours, à l'action de laquelle, comme l'expérience l'a montré, des axes peuvent résister.

J'entre, au surplus, bien surabondamment dans ces explications sur la possibilité de réaliser les vitesses de 3,000 à 4,000 tours par seconde, car je n'en aurai pas besoin, car j'arriverai au but avec les seules vitesses de 1,000 tours, car j'ai avisé à un autre moyen d'accroître les déviations angulaires qu'il s'agit d'apprécier. Ce moyen est la multiplication des miroirs.

Je l'ai déjà expliqué, si deux rayons parallèles arrivent l'un après l'autre sur un miroir rotatif, ils forment entre eux, après leur réflexion, un certain angle que j'appellerai α; mais rien n'est changé dans leurs premières relations de distance; entre le plus avancé de ces deux rayons réfléchis et le suivant, il y aura exactement le même intervalle qu'entre les rayons directs : s'ils tombent donc sur un second miroir, tournant dans un sens convenable avec la vitesse du premier, une nouvelle quantité α s'ajoutera à la précédente déviation; l'angle des deux rayons aura doublé; à l'aide d'un troisième, d'un quatrième miroir, etc., etc., cet angle pourra être porté à 3α, à 4α, etc., etc. La réflexion sur des faces planes devient ainsi un moyen d'amplification angulaire, ce qui, par parenthèse, peut au premier coup d'œil sembler assez paradoxal.

CHAPITRE IV

DE LA VISIBILITÉ DES IMAGES DONT LES POSITIONS RELATIVES DOIVENT CONDUIRE A LA SOLUTION DE LA QUESTION PROPOSÉE

Des images formées par voie de réflexion, sur des miroirs tournant avec d'excessives vitesses, dureront naturellement très-peu. Or, ne pourrait-il pas se faire qu'au-dessous d'une certaine durée d'apparition notre œil fût insensible à l'action de la lumière même la plus intense? Ce doute ne saurait être résolu *à priori;* mais heureusement, dans ses recherches électriques, M. Wheatstone a vu nettement les images d'étincelles, reflétées par le miroir tournant, et qui duraient moins d'un millionième de seconde.

Je n'emploierais pas, si c'était nécessaire, de plus grandes vitesses de miroirs que le physicien anglais; sur ce point-là encore, la possibilité de mon expérience se trouve complétement établie, dût-on, à la rigueur, n'opérer qu'avec des lumières électriques; car j'ai prouvé, il y a un grand nombre d'années, que les rayons de toute origine, ceux du Soleil et ceux d'un ver luisant, les rayons d'une étoile et ceux du bois pourri, etc., se réfractent exactement de la même quantité et doivent, dès lors, avoir des vitesses égales.

CHAPITRE V

VERRA-T-ON LA LUMIÈRE A TRAVERS LES ÉPAISSEURS DE LIQUIDE QUE L'EXPÉRIENCE PROJETÉE NÉCESSITERA?

Bouguer expérimenta sur la lumière d'une faible flamme qui traversait un canal en bois rempli d'eau, d'environ 3 mètres de long. Ce canal était en outre bouché par deux plans de verre d'une médiocre qualité. Pendant son trajet à travers les deux plans de verre et les 3 mètres d'eau, la lumière s'affaiblissait dans le rapport de 14 à 5. Elle conservait donc à sa sortie plus du tiers de son intensité primitive.

L'eau (de mer) prise au milieu du port du Croisic n'avait pas été filtrée avec tout le soin convenable. Bouguer estime qu'en s'entourant de toutes les précautions possibles, la lumière, après avoir traversé 3 mètres d'eau, conservait les $\frac{3}{5}$ et même les $\frac{3.5}{5}$ de son intensité originaire.

Si 3 mètres d'eau laissent à la lumière les $\frac{3}{5}$ de son éclat primitif $= \frac{1}{1.7}$,

6 mètres correspondront		à.........	$\frac{9}{25}$	$= \frac{1}{2.8}$
9 —	—	à.........	$\frac{27}{125}$	$= \frac{1}{4.6}$
12 —	—	à.........	$\frac{81}{625}$	$= \frac{1}{7.7}$
15 —	—	à.........	$\frac{243}{3125}$	$= \frac{1}{12.9}$
18 —	—	à.........	$\frac{729}{15625}$	$= \frac{1}{21}$
21 —	—	à.........		$\frac{1}{36}$
24 —	—	à.........		$\frac{1}{60}$

Bouguer rapporte au surplus que, dans la zone torride,

il a vu quelquefois le fond de la mer, quand il était de sable blanc, jusqu'à des profondeurs de 30 à 36 mètres.

CHAPITRE VI

DÉTAILS NUMÉRIQUES DESTINÉS A PROUVER QUE SANS DÉPASSER LES LIMITES DE VITESSE ET DE LONGUEUR DE TUYAU LIQUIDE PRÉCÉDEMMENT FIXÉES, ON POURRA RENDRE SENSIBLES LES DIFFÉRENCES DES DÉVIATIONS ANGULAIRES QU'ÉPROUVERONT DEUX SYSTÈMES DE RAYONS, PRIMITIVEMENT PARALLÈLES, EN ARRIVANT AU MIROIR TOURNANT, LES UNS A TRAVERS L'AIR, LES AUTRES AU TRAVERS D'UN LIQUIDE

Afin d'éviter, dès le début, toute contestation, je supposerai qu'on vise au miroir avec une bonne lunette, et je porterai jusqu'à l'énorme quantité d'une minute de degré l'angle dont les deux images devront être respectivement écartées l'une de l'autre, pour que l'observateur soit certain qu'il y ait eu déviation.

Une déviation d'une minute de degré résultera de réflexions opérées sur deux positions du miroir inclinées l'une à l'autre d'une demi-minute. Ainsi, voyons d'abord combien de temps un miroir qui fait 1,000 tours par seconde emploie à décrire une demi-minute.

Dans mille circonférences il y a 360,000 degrés. En multipliant 360,000 par 60, on aura le nombre des minutes contenues dans mille circonférences. Le produit est 21,600,000. Ainsi, dans une seconde de temps, le miroir parcourt 21,600,000 minutes de degré. Donc, une minute de degré est décrite en $\frac{1}{21,600,000}$ de seconde de temps et une demi-minute dans une durée moitié moindre, ou en $\frac{1}{43,200,000}$ de seconde.

Deux rayons qui tomberont parallèlement sur le miroir tournant formeront donc entre eux, après leur réflexion, un angle d'une minute de degré, si l'un des deux est arrivé au miroir $\frac{1}{43,200,000}$ de seconde plus tôt que l'autre.

Au temps substituons des longueurs. Cherchons de combien de mètres le premier rayon doit devancer le second pour qu'il s'écoule $\frac{1}{43,200,000}$ de seconde entre les moments de leur arrivée à la surface réfléchissante.

La lumière vient du Soleil à la Terre en $8^m 13^s$ ou en 493 secondes de temps.

Du Soleil à la Terre il y a 24,000 rayons terrestres, ou 24,000 fois 6,366,000 mètres.

En 1^s la lumière parcourt donc $\frac{24,000 \times 6,366,000}{493}$ mètres $= 48 \times 6,366,000$ mètres.

De là résulte encore qu'en $\frac{1}{43,200,000}$ de seconde, ou pendant le temps que le miroir emploie à tourner sur lui-même d'une demi-minute de degré, la lumière parcourt $\frac{48 \times 6,366,000}{43,200,000}$ mètres. Cette fraction vaut $7^m.07$; en nombre rond 7 mètres.

Ainsi, il faut et il suffit pour que deux rayons de lumière parallèles, après s'être réfléchis à la surface d'un miroir tournant sur le pied de 1,000 tours en une seconde, fassent entre eux un angle d'une minute, que l'un précède l'autre de 7 mètres.

Jusqu'ici nous avons été dans les préliminaires de l'expérience projetée. Munis de toutes ces données, entrons maintenant dans l'examen des deux théories de la lumière.

Suivant la théorie de l'émission, la lumière, inévitablement, se meut plus vite en traversant un liquide qu'en

traversant l'air, et cela dans le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction. Si la lumière est une ondulation, elle doit, au contraire, se mouvoir moins vite dans le liquide que dans l'air et suivant le rapport inverse des mêmes sinus.

Des liquides ou d'autres milieux réfringents fournissent donc les moyens de hâter la marche de la lumière, de porter des rayons à la surface d'un miroir plus vite qu'ils n'y seraient arrivés, pourvu que la théorie de l'émission soit vraie. Leur interposition produira tout l'opposé, elle amoindrira la vitesse des rayons, elle les fera arriver à la surface réfléchissante plus tard que s'ils avaient continué à se mouvoir dans l'air, en admettant que la lumière soit le résultat d'une ondulation.

Un faisceau de rayons à peu près parallèles partis simultanément d'un point éloigné, ou rendus artificiellement parallèles à l'aide d'une lentille, se dirige vers le miroir tournant. Un tuyau parallèle à ces rayons et rempli d'eau se trouve placé sur leur trajet. Le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, pour le passage de la lumière de l'air dans l'eau, ou, ce qui revient au même, suivant la théorie de l'émission, le rapport de la vitesse de la lumière dans l'eau à la vitesse de la lumière dans l'air, est celui de 1.336 à 1.000, sensiblement égal au rapport de 4 à 3. Les espaces parcourus étant directement comme les vitesses, pendant que la lumière franchit toute la longueur du tube rempli d'eau, elle ne parcourt dans l'air que les $\frac{3}{4}$ de cette même longueur. Ce sera la différence de ces deux quantités, c'est-à-dire $\frac{1}{4}$ de la longueur du tuyau d'eau, qui devra être égale à 7 mètres si l'on veut

que les deux rayons se réfléchissent sous l'angle d'une minute. La longueur totale du tuyau sera donc égale à 28 mètres [1].

Une vive lumière se verrait certainement à travers 28 mètres d'eau ; mais, enfin, si l'image semblait trop faible, on recourrait à deux miroirs rotatifs conjugués, et alors $\frac{28}{2}$ ou 14 mètres d'eau correspondraient à la même déviation angulaire d'une minute.

Avec trois miroirs, $9^{m}.3$ conduiraient au résultat. A l'aide de quatre, il suffirait de 7 mètres.

Dans les mêmes hypothèses, si l'on admettait que la déviation d'une demi-minute sera sensible, les longueurs des tuyaux d'eau nécessaires deviendraient :

Pour un seul miroir rotatif à 1,000 tours....	$14^{m}.0$
Pour deux miroirs........................	7 .0
Pour trois................................	4 .7
Pour quatre..............................	3 .5

Chacun de ces nombres pourra encore être réduit à moitié si, comme cela est probable, la lunette permet d'apercevoir des séparations angulaires d'un quart de minute.

Choisissons un milieu plus réfringent que l'eau, par exemple le carbure de soufre, à l'égard duquel le rapport des vitesses dans l'air et dans le liquide est celui de 1.000 à 1.678. Le même calcul donnera (pour une rotation de 1,000 tours d'un seul miroir et une déviation d'une minute) une longueur de tuyau égale à $17^{m}.4$ [2].

1. Un calcul semblable fait dans le système des ondes ne donnerait que 21 mètres pour la longueur du tuyau d'eau qui correspondrait à une même déviation d'une minute.

2. Dans la théorie des ondes, la longueur du tuyau de carbure de soufre nécessaire à la même déviation ne serait pas de 11 mètres.

Avec 2,000 tours ou deux miroirs on a.........	8^m.7
Avec 3,000 tours ou trois miroirs...............	5 .8
Avec 4,000 tours ou quatre miroirs.............	4 .4

Ces longueurs de tuyau seront réduites respectivement à 8^m.7; à 4^m.4 ; à 2^m.9 et à 2^m.2, en ne cherchant que des déviations angulaires d'une demi-minute. Si enfin, comme on doit le penser, on discerne bien des déviations d'un quart de minute, ces mêmes longueurs, en employant un, deux, trois et quatre miroirs rotatifs à 1,000 tours, se réduiront respectivement à 4^m.4 ; à 2^m.2; à 1^m.5; à 1^m.1.

CHAPITRE VII

MOYEN DE RÉSOUDRE LE PROBLÈME PAR L'OBSERVATION D'UNE SEULE IMAGE

Toute la série des nombres précédents établit la possibilité de l'expérience projetée; tous montrent que des phénomènes de déviation deviendront un moyen décisif de choisir en connaissance de cause entre la théorie de l'émission et celle des ondes. Peut-être ne sera-t-on pas fâché de voir que le même résultat pourrait être obtenu à l'aide de l'observation d'une seule image.

De nombreuses observations d'étoiles changeantes m'on prouvé que dans les espaces célestes et aussi, à fort peu près, dans l'atmosphère, les rayons de différentes couleurs se meuvent avec la même rapidité. De là, en admettant le système de l'émission, résulte nécessairement la conséquence qu'en traversant un liquide, les rayons rouges marchent moins vite que les rayons violets et précisément

dans le rapport inverse des sinus de réfraction respectifs correspondant à une incidence commune. Le système des ondes exige aussi qu'il existe une différence de vitesse entre les rayons extrêmes du spectre; seulement elle doit avoir lieu en sens contraire : ce sont alors les rayons rouges qui marchent le plus vite.

Cela posé, dirigeons un faisceau de lumière blanche sur le miroir rotatif, au travers d'un long tube rempli de carbure de soufre, liquide éminemment dispersif. Les rayons rouges, les rayons violets, tout comme les rayons intermédiaires, orangés, jaunes, verts, bleus, n'arriveront pas au miroir en même temps; ainsi ils seront inégalement déviés; ainsi ils formeront après leur réflexion, une de ces bandes irisées que les physiciens ont coutume d'appeler des spectres. Jusqu'ici tout est commun entre les deux théories de la lumière; mais la différence commencera dès qu'on portera son attention sur l'ordre dans lequel les couleurs se succéderont : cet ordre doit être inverse dans les deux systèmes. Pour savoir si la lumière est un corps ou une onde, on n'aura donc ici qu'à examiner dans quel sens le spectre réfléchi se trouve posé; il suffira de rechercher si l'extrémité rouge est à droite ou à gauche, et cela, bien entendu, suivant le sens de la rotation du miroir.

Soit que dans les expériences que je me propose de faire on se serve d'étincelles électriques ou de lumières successivement cachées et découvertes à l'aide d'écrans rotatifs, comme leurs éclats ne sauraient être réglés à des millièmes de seconde, il arrivera qu'un observateur visant au miroir dans une direction donnée et avec une lunette

d'un champ borné, n'apercevra la lumière que fortuitement. Hâtons-nous d'ajouter qu'en renouvelant très-souvent les apparitions lumineuses, toutes les secondes par exemple; qu'en faisant tourner, au lieu du miroir unique, un prisme vertical à huit ou douze facettes; qu'avec le concours de plusieurs observateurs, placés dans des positions différentes et armés chacun de sa lunette, on ne pourra manquer d'avoir des apparitions nombreuses et décisives des rayons réfléchis.

CHAPITRE VIII

HISTORIQUE DE LA QUESTION — RÉALISATION DE MES PROJETS PAR PLUSIEURS PHYSICIENS

On vient de lire le compte-rendu que je fis en 1838 à l'Académie du projet d'expérience que j'avais imaginé pour résoudre directement et définitivement cette question toujours débattue entre les physiciens : la lumière est-elle une matière émise par les corps rayonnants ou le résultat de la vibration d'un milieu très-rare et très-élastique qu'on est convenu d'appeler l'*éther*?

Les circonstances m'ont amené en 1850 à traiter la question au point de vue historique. Voici dans quels termes je m'exprimai :

M. Wheatstone était parvenu très-ingénieusement, à l'aide d'un appareil dans lequel figurait pour la première fois un miroir rotatif, à déterminer la vitesse de propagation de l'électricité. Cette belle méthode m'avait semblé un titre plus que suffisant pour que

M. Wheatstone occupât un rang distingué dans la liste de candidats à une place de correspondant vacante dans la section de physique. Les membres de la section avec lesquels je me trouvais en désaccord à ce sujet prétendaient que la méthode que j'exaltais, disaient-ils, outre mesure ne pourrait pas s'appliquer à d'autres recherches que celles dont M. Wheatstone avait déjà présenté les résultats.

Je m'engageai à prouver, contrairement à l'opinion de mes confrères, que le miroir rotatif du physicien anglais servirait à la détermination des vitesses comparatives de la lumière dans les liquides et dans l'air, c'est-à-dire à la solution d'une des plus difficiles questions de la philosophie naturelle.

Tel fut l'objet de la Note imprimée dans le compte-rendu de la séance du 3 décembre 1838.

Cette Note établissait que, dans des hypothèses fort admissibles sur les déviations angulaires susceptibles d'être observées avec une lunette ordinaire, il ne serait pas impossible de déterminer la vitesse comparative de la lumière dans le carbure de soufre et dans l'air, sans recourir à une longueur de tube exagérée et à un miroir faisant plus de 1,000 tours par seconde. Or le miroir dont s'était servi M. Wheatstone faisait déjà 800 tours dans le même intervalle de temps.

Il était évident que, dans ce système d'observation et pour un écartement angulaire donné, la longueur du tube renfermant le liquide devait être d'autant plus courte que le mouvement de rotation du miroir serait plus rapide. C'est pour cela que je m'étais attaché à

suppléer à ce mouvement de rotation, qui ne peut pratiquement dépasser certaines limites, en combinant plusieurs miroirs rotatifs.

Les deux rayons, tombant l'un à travers le liquide, l'autre à travers l'air sur un premier miroir rotatif, forment un certain angle ; cet angle est doublé lorsque ces rayons tombent sur un second miroir tournant dans un sens convenable avec la même vitesse; l'angle est triplé si ces rayons tombent sur un troisième miroir tournant, et ainsi de suite. On peut ainsi, par la multiplication des miroirs rotatifs, arriver au même résultat que si un miroir unique tournait avec une vitesse double, triple,... de celle qu'il est possible d'obtenir avec sûreté sans détruire la denture des roues et sans détremper les axes.

Mon ami M. Breguet fils se chargea de réaliser cette conception, par un mécanisme dans lequel toutes les communications de mouvement s'effectuaient à l'aide d'engrenages. Il mit en œuvre une disposition particulière de la denture dont la première idée appartient à White. On a pu voir le système des trois mouvements déjà exécuté à l'une des anciennes expositions des produits de l'industrie.

En visant à l'image réfléchie par le miroir qu'entraînait le troisième rouage, les effets observés devaient être identiques avec ceux qu'aurait fournis un miroir rotatif unique faisant 3,000 tours par seconde. Dès ce moment, le succès de l'expérience projetée était mis hors de doute; on pouvait regretter seulement que, par trois réflexions successives sur trois miroirs différents, la

lumière dût éprouver un affaiblissement notable. Il était donc à désirer qu'on arrivât au résultat par une seule réflexion ; c'est à quoi les expériences dont je vais rendre compte parurent conduire.

Dans ses recherches sur les causes qui empêchaient de faire tourner un miroir avec plus de 1,000 tours par seconde, M. Breguet s'avisa de décharger le dernier axe du poids du miroir qu'il supportait ; de faire tourner l'axe tout seul, et il réussit, non sans étonnement, à faire faire à cet axe 8,000 tours par seconde. L'obstacle qui empêchait de faire tourner le même axe, lorsqu'il portait le miroir, avec une vitesse de plus de 1,000 tours par seconde parut évident : c'était, devait-on penser, la résistance de l'air. Je crus moi-même à l'existence de cette cause, et toutes nos pensées se portèrent sur les moyens de faire tourner le miroir dans le vide. On construisit aussitôt un récipient en métal destiné à contenir l'appareil rotatif. Ce récipient était percé de plusieurs ouvertures, dont l'une devait donner entrée aux rayons de lumière ayant traversé les deux colonnes d'air et de liquide. En face des autres auraient été les objectifs des lunettes destinées à observer les deux rayons réfléchis par le miroir rotatif. Des communications convenables étaient établies, par l'intermédiaire de boîtes à étoupes, entre l'appareil et le poids moteur. Un tube particulier mettait l'intérieur du récipient en communication avec une machine pneumatique.

Tout cela était disposé, établi sur une colonne en pierre dans la salle de la méridienne de l'Observatoire. Il ne restait plus qu'à faire l'observation... Le miroir,

démentant toutes nos prévisions, n'a presque pas tourné plus vite dans le vide que dans l'air. Cette circonstance a montré, une fois de plus, la vérité du proverbe : « le mieux est l'ennemi du bien. » Il a fallu songer à revenir à l'appareil primitif composé de trois rouages et de trois miroirs séparés, appareil auquel je n'avais renoncé que pour conserver aux faisceaux réfléchis une forte intensité.

La nécessité de recourir à ce premier moyen d'expérience s'est fait sentir au moment où ma vue affaiblie ne me permettait plus de prendre part à de telles recherches. Mes prétentions doivent donc se borner à avoir posé le problème et à avoir indiqué les moyens certains de le résoudre. Ces moyens peuvent, dans l'exécution, éprouver des modifications qui les rendront applicables, avec plus ou moins de facilité, sans changer leur caractère essentiel. Je donnerai ici quelques détails sur les observations et les propositions qui m'ont été faites touchant ces expériences.

L'ingénieux M. Wheatstone, comme nous l'avons dit, s'était contenté, dans son beau Mémoire imprimé dans les *Transactions philosophiques*, de parler de l'application du miroir rotatif à la détermination de la vitesse de l'électricité. Après la publication de ma Note, il m'écrivit une lettre dont je vais citer divers passages :

1er juin 1839.

« ... J'ai lu avec un grand plaisir votre Notice insérée dans le *Compte-rendu* du 3 décembre 1838 sur un système d'expériences à l'aide duquel la théorie de l'émission et celle des ondes seront soumises à des épreuves

décisives, projet qui réunit tant d'idées ingénieuses et de grande valeur. Les conséquences auxquelles vous avez montré que conduisent mes expériences n'avaient pas échappé antérieurement à ma propre attention. L'application du principe en question, 1° à la mesure de la vitesse de la lumière dans l'atmosphère terrestre ; 2° à la comparaison de cette vitesse dans deux différents milieux, comme moyen de décider entre les deux théories rivales de la lumière, s'était présentée de bonne heure à mon esprit, quoique je n'aie rien publié à cet égard.

« En 1833, avant le départ de sir John Herschel pour l'hémisphère du sud, j'eus quelques conversations avec lui sur ce sujet, et je reçus une lettre du cap de Bonne-Espérance, en date du 5 septembre 1835, dans laquelle il me suggéra une disposition particulière à adopter pour la dernière expérience. Je reproduis, avec sa permission, un passage de cette lettre. J'ai eu aussi, dans les dernières quatre années, plusieurs entretiens avec le colonel Colby, le directeur du levé trigonométrique de la Grande-Bretagne, touchant la possibilité de résoudre le premier problème, en profitant des mesures faites pour la carte. Il parut n'y avoir aucune objection insurmontable au plan que je proposais. Les principaux obstacles à son accomplissement sont la difficulté et la dépense pour préparer, avec l'exactitude requise, des instruments de mesure d'une construction aussi inusitée. »

Voici maintenant un extrait de la lettre de sir John Herschel à M. Wheatstone, datée de Feldhausen, cap de Bonne-Espérance, 8 septembre 1835 :

« Votre principe pour déterminer la vitesse de l'élec-

tricité étant également applicable à la vitesse de la lumière, je voudrais vous rappeler une expérience que je vous suggérai, ainsi que vous pouvez vous en souvenir, comme digne d'être essayée, quand j'eus le plaisir de vous voir à Slough. La voici : Pour déterminer par des expériences directes quelle est la vitesse de la lumière, non-seulement dans l'air, mais aussi dans l'eau, et par là trancher une fois pour toutes la question entre la théorie de l'émission et celle des ondes, il n'est pas nécessaire que votre miroir tourne dans l'eau. Il suffit que la lumière, soit qu'elle provienne du Soleil ou d'une décharge électrique, après avoir subi la subdivision requise (comme par exemple, par une réflexion partielle sur une surface transparente), arrive à l'œil, une portion directement à travers l'air, l'autre après la transmission à travers un mille d'eau (un tiers de lieue). La grande difficulté serait d'avoir un mille d'eau bien claire et d'une égale température; pour cet objet, un tube sous la terre serait indispensable, et alors s'élève la question de savoir si l'on pourrait trouver une lumière assez intense pour affecter l'œil après avoir subi l'absorption d'un mille d'eau. Bref, il y a des difficultés et probablement la dépense serait grande... Peut-être l'alcool aurait plus de transparence que l'eau, sans colorer la lumière; peut-être aussi des moyens pourraient être trouvés pour envoyer la lumière en avant et en arrière, ou tout autour d'un carré, par des réflexions totales à l'intérieur de prismes, à travers la même portion de liquide dans un tube d'une longueur modérée. »

Ces extraits des lettres de MM. Wheatstone et Hers-

chel donnent lieu à des réflexions qui doivent trouver place ici.

M. Wheatstone avait sans conteste, puisqu'il le déclare, songé à déterminer, à l'aide de son miroir rotatif, la vitesse comparative de la lumière dans l'air et dans l'eau; mais comme cette pensée n'avait reçu aucune publicité, elle était pour tout le monde comme non avenue : la publication est le seul moyen d'établir en ce genre la priorité. M. Wheatstone remarquera que je me suis appliqué naguère ce principe à mon détriment, à l'égard d'une de ses plus ingénieuses inventions, celle de son horloge chromatique ou polaire[1].

Je ne veux, pour montrer l'inconvénient qu'il y aurait à prendre pour guide, dans des questions de priorité, des souvenirs vagues de quelques anciennes conversations, que la différence que l'on remarque entre les termes de la lettre de M. Wheatstone et ceux de la lettre de M. Herschel. Le premier dit, en effet : « J'avais songé à déterminer la différence de vitesse en question »; le second écrit : « Je vous suggérai l'expérience, ainsi que vous pouvez vous en souvenir ».

Une chose qui résulte, au reste, avec une entière évidence, des extraits qu'on vient de lire, c'est que les deux célèbres physiciens anglais n'avaient nullement conçu des moyens d'expérience réalisables à l'époque de leur conversation. Transmettre la lumière à travers un tiers de lieue de liquide, soit directement, soit par des réflexions multiples, est un moyen purement théorique et idéal.

1. Voir page 396 de ce volume.

Je n'ajoute plus qu'un seul mot : la publicité donnée à mon système d'observation a dû être considérée par M. Wheatstone lui-même comme une raison de s'abstenir. En effet, il n'a pas fait l'expérience, quoiqu'il eût les appareils nécessaires pour cela. Il est vrai qu'en général on recule devant les difficultés, lorsqu'il s'agit de tenter une épreuve indiquée par un autre et qu'on ignore la part que le public consentirait à attribuer à chacun dans le succès. Quant à moi, si j'ai apporté de longs retards à la réalisation de ce que j'avais annoncé, cela a tenu, en grande partie, aux obligations que M. Breguet, mon collaborateur, avait contractées avec le gouvernement pour la fourniture de télégraphes électriques et au désir que j'avais d'opérer, ainsi que je l'ai dit, avec un miroir faisant 8,000 tours par seconde.

Peut-être aussi me reposais-je avec confiance sur la pensée que personne n'exécuterait, sans y être autorisé par moi, une expérience fondée sur des principes et des moyens d'exécution auxquels j'avais initié le public dans les plus grands détails.

M. Bessel, après ma publication dans le *Compte-rendu*, m'annonça qu'il avait songé à une modification de mon appareil composé de trois rouages successifs surmontés chacun d'un miroir : il recevait, lui, les rayons réfléchis par le premier miroir rotatif, non plus sur un second miroir tournant, mais sur un miroir fixe qui le renvoyait au premier miroir ; après cette seconde réflexion, les rayons tombaient encore sur le miroir fixe, d'où ils se réfléchissaient, une troisième fois, sur le miroir mobile, etc. C'est après la dernière réflexion sur

le miroir mobile unique que M. Bessel voulait observer l'écartement angulaire du rayon. Cette méthode, plus simple que celle que j'avais proposée, en ce sens qu'elle n'exigeait qu'un rouage, avait l'inconvénient très-grave d'affaiblir beaucoup plus la lumière, puisqu'il y avait de plus que dans l'autre méthode la réflexion sur les miroirs fixes. En me communiquant son système, l'illustre astronome de Kœnigsberg ajoutait ces mots : « Quoique mon procédé me paraisse plus simple, comme il n'est qu'une modification du vôtre, je ne l'essaierai pas : l'idée de l'expérience vous appartient ; vous avez démontré la possibilité de sa réalisation ; aussi le résultat, quel qu'il soit, vous appartiendra. »

M. Silbermann, sans avoir connaissance de la communication antérieure de M. Bessel, me fit une proposition analogue à celle de l'illustre observateur de Kœnigsberg.

Enfin, un professeur dont j'ai oublié le nom, n'ayant malheureusement conservé dans mes papiers qu'un fragment de sa lettre, m'indiqua aussi quelques modifications à apporter à mon projet d'expériences pour en rendre l'exécution plus facile.

Les choses étaient dans cet état, lorsque M. Fizeau détermina, par une expérience si ingénieuse, la vitesse de la lumière dans l'atmosphère. Cette expérience n'était pas indiquée dans mon Mémoire, l'auteur avait donc le droit de la faire sans s'exposer au plus léger reproche d'indélicatesse.

Quant à l'expérience de la vitesse comparative de la lumière dans un liquide et dans l'air, l'auteur m'écrivait :

« Je n'ai fait encore aucun essai dans ce sens, et je ne m'en occuperai que sur votre invitation formelle. » Cette réserve loyale ne pouvait qu'ajouter à l'estime que le caractère et les travaux de M. Fizeau m'ont inspirés, et je me suis empressé d'autoriser M. Breguet à lui prêter un ou plusieurs de mes miroirs rotatifs.

M. Foucault, dont l'Académie connaît l'esprit inventif, est venu lui-même me faire part du désir qu'il avait de soumettre à l'épreuve de l'expérience une modification qu'il voulait apporter à mes appareils.

Je ne puis, dans l'état actuel de ma vue, qu'accompagner de mes vœux les expérimentateurs qui veulent suivre mes idées et ajouter une nouvelle preuve en faveur du système des ondes, à celle que j'ai déduite d'un phénomène d'interférence trop bien connu des physiciens pour que j'aie besoin de le rappeler ici [1].

CHAPITRE IX

DIRECTION DES MOUVEMENTS MOLÉCULAIRES DE L'ÉTHER

Les expériences de polarisation ont conduit graduellement les physiciens, partisans du système des ondes, à admettre que les mouvements moléculaires de l'éther s'opèrent perpendiculairement à l'axe de tout rayon lumineux, perpendiculairement à la ligne droite suivant laquelle tout rayon se propage. L'hypothèse n'a pas été accueillie d'emblée. Il n'a fallu rien moins pour

1. Voir pages 100 et 426 de ce volume.

vaincre de nombreuses hésitations, que les étranges phénomènes d'interférences offerts par les rayons polarisés. Cependant j'ai trouvé qu'à une époque déjà ancienne, que dans l'année 1672, un savant illustre, le docteur Robert Hooke, constituait déjà les ondes lumineuses, comme il vient d'être dit, et cela sans y être forcé par aucun fait expérimental, sans la moindre idée anticipée de la polarisation et du rôle qu'elle joue aujourd'hui dans les interférences lumineuses. Le passage du célèbre auteur de la *Micrographie* existe à la page 12 du tome III de l'*Histoire de la Société royale de Londres*, par Birch. Ce passage le voici : « The motion of light in an uniform medium, in which it is generated, is propagated by simple and uniform pulses or waves, which are at right angles with the line of direction. » (Le mouvement de la lumière dans un milieu uniforme où elle est engendrée est propagé par des pulsations ou des ondes qui sont à angles droits avec la direction que suit la lumière.)

CHAPITRE X

SUR LA VITESSE DES DIVERSES LUMIÈRES

En terminant cette Notice je dois me féliciter d'avoir vu l'illustre doyen de l'Académie, M. Biot, donner son assentiment aux suppositions à l'aide desquelles je suis parvenu, au commencement du siècle, à concilier certaines mesures de la déviation prismatique de la lumière des étoiles avec le système de l'émission. Dans ces expériences

j'avais trouvé exactement la même déviation en observant, à travers un prisme, les étoiles vers lesquelles la Terre marchait et les étoiles situées à l'opposite, quoique, d'après le calcul, la différence relative de la vitesse des rayons des deux étoiles étant de $\frac{1}{5,000}$ (le double de la vitesse de la Terre) eût dû donner une différence de déviation de près de 30 secondes [1].

Cette même supposition que les corps lumineux émettent des rayons avec toutes les vitesses possibles et que dans l'ensemble de ces vitesses une seule produit la sensation de la lumière, rend compte aussi de l'égalité de vitesse apparente des rayons de toutes les étoiles. Une pareille égalité avait d'autant plus besoin d'être expliquée qu'en supposant la lumière matérielle, les molécules après s'être élancées sont soumises à l'attraction du corps d'où elles émanent, et que, sans donner à quelques étoiles des dimensions improbables, la vitesse de leurs rayons pourrait être non-seulement affaiblie d'une manière sensible, mais encore réduite à zéro.

J'ai prouvé aussi qu'une portion très-notable de la lumière qui émane des corps solides incandescents (d'une masse de platine rouge blanc, par exemple) vient de l'intérieur du corps. Tout ce qu'il y aurait d'extraordinaire dans l'égalité de la vitesse de deux rayons dont l'un est né au sein de la matière du platine et l'autre à sa surface, disparaît à l'aide de l'hypothèse en question. Alors, aussi, personne n'a plus le droit de s'étonner que les lumières terrestres, que celle d'un ver luisant, par exemple, se

1. Voir page 562 de ce volume.

réfractent précisément comme la lumière solaire ou celle des étoiles.

Je n'ajouterai plus que quelques mots pour rectifier une erreur qui a été commise sous le point de vue historique : on a imprimé que mes observations, à travers un large prisme achromatique, d'étoiles situées dans la direction du mouvement de translation de la Terre, et dans la direction opposée, avaient été faites à la suggestion de M. Laplace; l'illustre géomètre a bien voulu seulement donner son approbation à mes recherches après avoir entendu la lecture de mon Mémoire.

FIN DU TOME QUATRIÈME DES NOTICES SCIENTIFIQUES

TABLE DES FIGURES

Fig.		Pages.
1	Expérience des interférences	32
2	Passage de la lumière à travers une lentille	41
3	Trace de l'ombre de la Lune sur la surface de la Terre pendant l'éclipse totale de Soleil du 8 juillet 1842	140
4	Visibilité des montagnes lunaires par double réflexion	272
5	Positions relatives du Soleil et de la Lune au moment de l'éclipse totale	277
6	Théorème de la détermination de l'angle de polarisation complète	313
7	Polarisation totale à la surface d'un milieu à faces parallèles	318
8	Comparaison de la lumière réfléchie et de la lumière transmise	323
9	Nature d'un rayon polarisé après deux réflexions totales	370
10	Anneaux formés par de la lumière polarisée ayant traversé un cristal à un seul axe	405
11	Anneaux formés par de la lumière polarisée ayant traversé un cristal à deux axes	410

FIN DE LA TABLE DES FIGURES

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SEPTIÈME

TOME QUATRIÈME DES NOTICES SCIENTIFIQUES

DE LA SCINTILLATION

Pages.

CHAPITRE PREMIER. — Avant-propos........................ 1
CHAPITRE II. — En quoi consiste la scintillation............. 2
CHAPITRE III. — Des changements instantanés de couleur des étoiles observables à l'œil nu........................ 3
CHAPITRE IV. — Scintillation de Mercure et de Vénus....... 5
CHAPITRE V. — Scintillation de Mars........................ 6
CHAPITRE VI. — Scintillation de Jupiter et de Saturne...... 8
CHAPITRE VII. — Scintillation dans les lunettes............ 9
CHAPITRE VIII. — De l'influence des oscillations sur les images produites dans les lunettes.......................... 17
CHAPITRE IX. — Les étoiles, quelle que soit leur grandeur, scintillent-elles également quand elles sont placées à la même hauteur au-dessus de l'horizon? Y a-t-il, au contraire, sous le rapport de la scintillation, des différences spécifiques entre des étoiles de même grandeur ou de grandeur différente?.. 20
CHAPITRE X. — Influence supposée des distances des astres sur leur scintillation.................................... 22
CHAPITRE XI. — Quelles modifications les circonstances atmosphériques apportent-elles à la scintillation?............ 23
CHAPITRE XII. — Modification que la hauteur au-dessus de l'horizon apporte au phénomène de la scintillation...... 27
CHAPITRE XIII. — La scintillation d'une étoile est-elle la même pour des observateurs diversement placés?............ 28

Pages.
CHAPITRE XIV. — Des couleurs complémentaires........... 29
CHAPITRE XV. — Des interférences ; des lois qui les régissent. 31
CHAPITRE XVI. — Application de la théorie des interférences à l'explication de la scintillation..................... 40
CHAPITRE XVII. — Scintillation des planètes............... 47
CHAPITRE XVIII. — Scintillomètres......................... 50
§ 1. — Premier scintillomètre....................... 51
§ 2. — Deuxième scintillomètre...................... 55
§ 3. — Troisième scintillomètre...................... 56
CHAPITRE XIX. — Examen des explications qui avaient été données jusqu'ici du phénomène de la scintillation...... 58
§ 1. — Explication d'Aristote........................ 58
§ 2. — Ptolémée.................................... 59
§ 3. — Averrhoès.................................... 60
§ 4. — Alhazen et Vitellion........................... 61
§ 5. — Aguilonius et Aversa.......................... 62
§ 6. — Tycho....................................... 63
§ 7. — Cardan....................................... 64
§ 8. — Scaliger...................................... 64
§ 9. — Jordano Bruno................................ 65
§ 10. — Galilée...................................... 66
§ 11. — Kepler....................................... 66
§ 12. — Scheiner..................................... 68
§ 13. — Descartes.................................... 68
§ 14. — Huygens..................................... 69
§ 15. — Gassendi..................................... 69
§ 16. — Riccioli...................................... 70
§ 17. — Hooke....................................... 71
§ 18. — Newton...................................... 73
§ 19. — Kern.. 75
§ 20. — Jurin.. 76
§ 21. — Jacques Cassini............................... 77
§ 22. — Dr Long..................................... 78
§ 23. — Mairan...................................... 79
§ 24. — Michell...................................... 79

Pages.
§ 25. — Lalande.................................... 81
§ 26. — Musschenbroeck............................ 82
§ 27. — Darwin..................................... 82
§ 28. — Saussure.................................... 84
§ 29. — Odström..................................... 84
§ 30. — Young et Nicholson........................ 85
§ 31. — M. Biot...................................... 86
§ 32. — M. Forster................................... 87
§ 33. — M. Capocci.................................. 88
§ 34. — M. Kaemtz................................... 90
§ 35. — M. Arago..................................... 91
CHAPITRE XX. — Conclusions........................ 93

APPENDICE

§ 1. — Explication du phénomène de la scintillation, remise à M. de Humboldt en 1814, et insérée à la fin du livre IV du *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent*.................................... 97
§ 2. — Note sur un phénomène remarquable qui s'observe dans la diffraction de la lumière, lue à l'Institut le 26 février 1816.................................... 99
§ 3. — Quelques remarques insérées en 1824 dans le tome XXVI des *Annales de chimie et de physique*, sur un Mémoire de M. Thomas Forster, relatif aux forces réflective, réfractive et dispersive de l'atmosphère, qui a été lu à la Société météorologique de Londres en février et mars 1824.................................... 103
§ 4. — Résumé d'un Mémoire sur la scintillation des étoiles, inséré dans le compte-rendu de la séance de l'Académie du 20 janvier 1840.................................... 109

CONSTITUTION PHYSIQUE

DU SOLEIL ET DES ÉTOILES

Notice sur les observations qui ont fait connaître la constitution physique du Soleil et celle de diverses étoiles.

Pages.
— Examen des conjectures des anciens philosophes et des données positives des astronomes modernes sur la place que doit prendre le Soleil parmi le nombre prodigieux d'étoiles dont le firmament est parsemé....... 112

NOTICE SUR LES ÉCLIPSES

ET PARTICULIÈREMENT SUR L'ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL DU 8 JUILLET 1842

CHAPITRE PREMIER. — Avant-propos..................... 136
CHAPITRE II. — Définitions.............................. 137
CHAPITRE III. — De la couronne lumineuse dont la Lune est entourée pendant une éclipse totale de Soleil........... 142
CHAPITRE IV. — De certaines irrégularités qui se manifestent au moment où les bords de la Lune se trouvent intérieurement à de petites distances des bords du Soleil........ 143
CHAPITRE V. — Des lueurs observées sur la surface de la Lune pendant certaines éclipses totales de Soleil........ 144
CHAPITRE VI. — Réflexions et recommandations soumises aux observateurs des futures éclipses........................ 146
CHAPITRE VII. — Heures du commencement et de la fin de l'éclipse; heures du commencement et de la fin de l'obscurité totale.. 156
CHAPITRE VIII. — Intensité de la lumière atmosphérique.... 164
CHAPITRE IX. — De la lumière cendrée pendant les éclipses totales de Soleil.. 168
CHAPITRE X. — Marche du thermomètre pendant les éclipses. 169
CHAPITRE XI. — Couleur apparente du ciel, aspect des objets, dans les moments qui précédèrent et dans ceux qui suivirent le moment de l'éclipse totale de 1842.............. 171
CHAPITRE XII. — Sur la couronne lumineuse dont la Lune parut entourée pendant toute la durée de l'éclipse totale de 1842.. 176
§ 1. — Forme générale de cette couronne.............. 176
§ 2. — De la situation des rayons divergents de la couronne.. 180
§ 3. — Quelle était la largeur angulaire de chacune des

Pages.

parties de la couronne? La couronne était-elle centrée sur la Lune ou sur le Soleil?........................ 182

§ 4. — Nature de la lumière de la couronne............ 185

§ 5. — Intensité de la lumière de la couronne........... 187

CHAPITRE XIII. — Couronne lumineuse de l'éclipse totale de Soleil observée le 8 août 1850 à Honolulu (île Sandwich).. 194

CHAPITRE XIV. — Y a-t-il une atmosphère autour de la Lune? 198

CHAPITRE XV. — Y a-t-il quelquefois sur la Lune des espaces, grands ou petits, lumineux par eux-mêmes? Y a-t-il à la surface de notre satellite des volcans en ignition? L'atmosphère de la Lune (si cette atmosphère existe) est-elle sillonnée par des orages?............................ 202

CHAPITRE XVI. — Sur les traits rectilignes et noirs qu'on s'attendait à observer entre le bord convexe de la Lune et le bord concave voisin du Soleil...................... 210

CHAPITRE XVII. — Visibilité de la partie du contour de la Lune qui ne se projette pas sur le Soleil. 213

CHAPITRE XVIII. — Sur un mouvement ondulatoire qui se manifeste peu de temps avant et peu de temps après l'éclipse totale, c'est-à-dire lorsque le segment solaire visible a très-peu de largeur.......................... 225

CHAPITRE XIX. — Polarisation de la lumière de la couronne lunaire pendant les éclipses.......................... 232

CHAPITRE XX. — Sur les proéminences rougeâtres qui se montrèrent en divers points du contour de la Lune, pendant toute la durée de l'éclipse totale du 8 juillet 1842.. 238

§ 1. — Observations faites en France.................. 239

§ 2. — Observations faites hors de France.............. 247

CHAPITRE XXI. — Observations des protubérances pendant l'éclipse totale de Soleil du 8 août 1850................ 258

CHAPITRE XXII. — Des protubérances pendant l'éclipse totale du 28 juillet 1851.................................. 263

CHAPITRE XXIII. — Sur les causes des protubérances. — Ancienneté de l'observation de ces phénomènes. — Les protubérances sont-elles des montagnes de la Lune, des montagnes du Soleil, des nuages de l'atmosphère de ce dernier astre ou des illusions d'optique? — Sera-t-il toujours indispensable d'attendre, pour les observer, le moment d'une éclipse totale ou annulaire?...................... 264

NOTICE

SUR LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE

Pages.

CHAPITRE PREMIER. — Introduction........................ 291

CHAPITRE II. — Définition d'un rayon polarisé............. 294

CHAPITRE III. — De la double réfraction considérée comme moyen de polariser la lumière........................ 295

CHAPITRE IV. — De la réflexion considérée comme moyen de polariser la lumière........................ 306

CHAPITRE V. — Des rayons partiellement polarisés......... 309

CHAPITRE VI. — Des lois qui relient les pouvoirs réfringents des corps aux angles de polarisation.................. 313

CHAPITRE VII. — De la réfraction considérée comme moyen de polariser la lumière........................ 321

CHAPITRE VIII. — De la dépolarisation de la lumière....... 331

CHAPITRE IX. — Des phénomènes d'interférence en tant qu'ils sont modifiés par une polarisation préalable de la lumière. 336

CHAPITRE X. — De l'espèce de polarisation qui se manifeste par des phénomènes de couleur, et qu'on a appelée à cause de cela la polarisation colorée........................ 341

CHAPITRE XI. — Sur les phénomènes de dépolarisation et de couleurs produits par les lames cristallisées............. 349

CHAPITRE XII. — Sur la polarisation circulaire............. 369

CHAPITRE XIII. — Détails historiques sur la découverte des diverses propriétés de la lumière qui sont relatives à des phénomènes de polarisation........................ 374

§ 1. — Découverte de la polarisation par Huygens dans les rayons provenant de la double réfraction. — Découverte par Malus des effets de la réflexion sur les rayons polarisés........................ 375

§ 2. — Découverte par Malus de la polarisation dans les rayons réfléchis........................ 376

§ 3. — Observation des rayons partiellement polarisés par M. Arago........................ 377

§ 4. — Découverte par M. Brewster de la loi qui lie l'angle de polarisation complète au pouvoir réfringent des corps. — Règle de Malus et théorème de M. Arago.... 377

Pages.

§ 5. — Découverte par Malus de la polarisation par la réfraction simple. — Découverte par M. Arago de l'égalité des quantités de lumière polarisée des faisceaux réfléchis et transmis. — Découverte des propriétés des piles de plaques par Malus. — Assimilation de certains corps naturels aux piles par M. Brewster. 378

§ 6. — Lois mathématiques de Fresnel reliant les divers plans de polarisation des faisceaux diversement réfléchis et réfractés........ 380

§ 7. — Découverte par MM. Arago et Fresnel des modifications apportées dans les phénomènes d'interférence par la polarisation........ 381

§ 8. — Découverte par M. Arago de la polarisation colorée. 381

§ 9. — Découverte des lois de la dépolarisation par les lames cristallines parallèles à l'axe. — Recherches et expériences de Fresnel, de M. Arago, de M. Biot, de M. Herschel et du docteur Thomas Young........ 390

§ 10. — Découverte par Fresnel de la polarisation circulaire........ 392

CHAPITRE XIV. — Observations détachées. — Instruments nouveaux fondés sur les propriétés des rayons polarisés. 393

§ 1. — De la polarisation produite par les lames très-minces........ 393

§ 2. — De la polarisation de la lumière dans l'atmosphère. 394

§ 3. — Horloge polaire........ 395

§ 4. — Des modifications que la polarisation apporte aux phénomènes d'absorption........ 397

§ 5. — Polarisation par réfraction de la lumière qui fait voir les corps. — Couleur propre des corps. — Cyanométrie........ 401

§ 6. — Sur la lumière des corps incandescents. — Application à la recherche de la constitution physique du Soleil........ 403

§ 7. — Des anneaux colorés qui se forment à l'aide de la lumière polarisée autour des axes optiques des cristaux. — Cristaux à un seul axe........ 404

§ 8. — Cristaux à deux axes........ 409

§ 9. — Des anneaux colorés........ 411

§ 10. — La lumière des halos est polarisée par réfraction. 414

Pages.
§ 11. — Instrument propre à faire voir les écueils...... 414
§ 12. — Emploi du polarimètre pour l'étude de l'optique atmosphérique dans les ascensions aérostatiques..... 415
§ 13. — Sur les interférences de la lumière considérées comme moyen de résoudre diverses questions très-délicates de physique et comme servant de base à la construction de nouveaux instruments de météorologie.. 418
§ 14. — Sur l'action que les rayons de lumière polarisés exercent les uns sur les autres..................... 426

APPENDICE

I. — Quelques résultats relatifs à la polarisation de la lumière. 429
§ 1. — Polarisation colorée produite par divers oxydes métalliques.. 429
§ 2. — Polarisation par la porcelaine................... 430
§ 3. — Polarisation de l'atmosphère.................... 430
§ 4. — Dépolarisation de la lumière.................... 430
§ 5. — Polarisation des images diffractées............. 431
§ 6. — Sur les couleurs des divers corps............... 432
II. — Remarques sur l'influence mutuelle de deux faisceaux lumineux qui se croisent sous un très-petit angle....... 432
III. — Sur la polarisation de la lumière atmosphérique et de la lumière de la Lune................................ 435
IV. — Construction d'un colorigrade. — Cyanométrie........ 437

SUR L'IMPULSION DES RAYONS SOLAIRES................ 447

LE DAGUERRÉOTYPE

CHAPITRE PREMIER. — Introduction...................... 455
CHAPITRE II. — De la chambre obscure.................. 464
CHAPITRE III. — Tentatives des anciens pour fixer les images de la chambre obscure.............................. 466
CHAPITRE IV. — Association de MM. Niepce et Daguerre.... 469
CHAPITRE V. — Procédé de M. Niepce..................... 471

Pages.

CHAPITRE VI. — Modifications apportées par M. Daguerre à la méthode de M. Niepce 474
CHAPITRE VII. — Procédé de M. Daguerre 476
CHAPITRE VIII. — Examen de quelques réclamations de priorité. 480
CHAPITRE IX. — Procédé de M. Talbot 489
CHAPITRE X. — Des avantages de la photographie 492
CHAPITRE XI. — Sur la grande vulgarisation de l'art photographique 494
CHAPITRE XII. — Utilité scientifique de l'invention de M. Daguerre 498
CHAPITRE XIII. — Sur la reproduction des couleurs 505
CHAPITRE XIV. — Sur la gravure photographique 506
CHAPITRE XV. — Conclusion 516

SUR LA PHOSPHORESCENCE 518

SUR L'ACTION CALORIFIQUE

ET L'ACTION CHIMIQUE DE LA LUMIÈRE

CHAPITRE PREMIER. — De la chaleur qui accompagne les lumières terrestres 530
CHAPITRE II. — Action chimique des lumières artificielles ... 532
CHAPITRE III. — Séparation de la propriété éclairante, de la propriété calorifique et de la propriété chimique d'un rayon de lumière 536
CHAPITRE IV. — De la puissance photogénique des rayons lumineux 538

VITESSE DE LA LUMIÈRE 548

SUR LES THÉORIES DE L'ÉMISSION

ET DES ONDES

CHAPITRE PREMIER. — Avant-propos 569
CHAPITRE II. — Principe de la méthode expérimentale qui doit décider entre la théorie de l'émission et celle des ondes 571

Pages.
CHAPITRE III. — Quelle vitesse de rotation peut-on donner à un miroir? 576
CHAPITRE IV. — De la visibilité des images dont les positions relatives doivent conduire à la solution de la question proposée 578
CHAPITRE V. — Verra-t-on la lumière à travers les épaisseurs de liquide que l'expérience projetée nécessitera? 579
CHAPITRE VI. — Détails numériques destinés à prouver que sans dépasser les limites de vitesse et de longueur de tuyau liquide précédemment fixées, on pourra rendre sensibles les différences des déviations angulaires qu'éprouveront deux systèmes de rayons, primitivement parallèles, en arrivant au miroir tournant, les uns à travers l'air, les autres au travers d'un liquide 580
CHAPITRE VII. — Moyen de résoudre le problème par l'observation d'une seule image 584
CHAPITRE VIII. — Historique de la question. — Réalisation de mes projets par plusieurs physiciens 586
CHAPITRE IX. — Direction des mouvements moléculaires de l'éther 596
CHAPITRE X. — Sur la vitesse des diverses lumières 597

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DU TOME SEPTIÈME

TOME QUATRIÈME DES NOTICES SCIENTIFIQUES